



Memoria del proyecto para optar al Título de
Ingeniero Civil Oceánico

REVALORIZACIÓN DEL BORDE COSTERO SECTOR SAN MATEO, VALPARAÍSO.

Manuel Matías Vásquez Calquín

Enero 2019

**REVALORIZACIÓN DEL BORDE COSTERO
SECTOR SAN MATEO, VALPARAÍSO.**

Manuel Matías Vásquez Calquín

COMISIÓN REVISORA	NOTA	FIRMA
MAURICIO REYES GALLARDO Profesor guía	_____	_____
ÁLVARO VIVEROS IBARRA Revisor	_____	_____
FRANCISCO MOLTENI PÉREZ Revisor	_____	_____

DECLARACIÓN

Este trabajo, o alguna de sus partes, no ha sido presentado anteriormente en la Universidad de Valparaíso, institución universitaria chilena o extranjera u organismo de carácter estatal, para evaluación, comercialización u otros propósitos. Salvo las referencias citadas en el texto, confirmo que el contenido intelectual de este Proyecto de Título es resultado exclusivamente de mis esfuerzos personales.

La Universidad de Valparaíso reconoce expresamente la propiedad intelectual del autor sobre esta Memoria de Titulación. Sin embargo, en caso de ser sometida a evaluación para los propósitos de obtención del Título Profesional de Ingeniero Civil Oceánico, el autor renuncia a los derechos legales sobre la misma y los cede a la Universidad de Valparaíso, la que estará facultada para utilizarla con fines exclusivamente académicos.

Mauricio Reyes Gallardo
Profesor Guía

Manuel Vásquez Calquín
Alumno Memorista

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, a mi familia: A mi padre Manuel Vásquez D. por darme todo lo que siempre necesité y por estar preocupado de que nunca me faltara nada, tanto emocional como económicamente, a mi madre Marcia Calquín M. por enseñarme a ser perseverante y motivarme a seguir creciendo como persona y nunca dejar de aprender y estudiar. A mi hermana Marcela Pilar por su apoyo incondicional y complicidad en todo desde que nací.

A mi familia escogida compuesta por mi pareja Bicett Diaz quien le da alegría, inspiración y dedicación a mi vida, junto a nuestra perrita Poppy. Gracias por estar a mi lado y ser mi cable a tierra.

Finalmente, a toda la comunidad ICO quienes fueron mi segunda familia desde 2008, a los profesores de la escuela por creer en mi proyecto y por guiarme continuamente en el desarrollo de este, a Álvaro Viveros por sus incontables consejos a lo largo de muchos años y a Francisco Molteni por facilitarme gran cantidad de información.

CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1	OBJETIVO GENERAL	2
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
1.3	ALCANCES	2
1.4	LIMITACIONES	2
2	ZONA DE ESTUDIO	3
3	MARCO TEÓRICO	5
3.1	VALORIZACIÓN DEL TERRITORIO	5
3.1.1	VALOR COMO VECTOR	5
3.1.2	VALOR ACTUAL DE LA ZONA	7
3.2	OLEAJE	7
3.2.1	GENERACIÓN DE OLEAJE	9
3.2.2	PROPAGACIÓN OCEÁNICA	10
3.2.3	PROPAGACIÓN COSTERA.....	12
3.2.4	ROTURA	15
3.2.5	MODELOS DE PROPAGACIÓN DE ONDAS.....	16
3.3	ONDAS DE MAREA	19
3.3.1	SISTEMA TIERRA-LUNA-SOL.....	19
3.3.2	INFLUENCIA METEOROLÓGICA.....	22
3.4	CORRIENTES	24
3.4.1	CORRIENTES OCEÁNICAS	24
3.4.2	CORRIENTES COSTERAS.....	25
3.5	ASPECTOS TEÓRICOS DEL DISEÑO	26
3.5.1	ESTADOS LÍMITES.....	26
3.5.2	BASES DE DISEÑO	26
3.5.3	TIPOS DE CARGAS.....	28
4	METODOLOGÍA	30
4.1	METODOLOGÍA DE VALORIZACIÓN COSTERA	30
4.2	METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE OLEAJE	30
4.2.1	ANÁLISIS DE MEDIANO PLAZO	30
4.2.2	ANÁLISIS DE LARGO PLAZO	30
4.2.3	OLEAJE AL PIE DE LA OBRA	33
4.3	METODOLOGÍA PARA ANÁLISIS DE ONDA DE MAREA	34
4.3.1	ANÁLISIS ASTRONÓMICO.....	34
4.3.2	ANÁLISIS METEOROLÓGICO.....	37
4.4	METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE CORRIENTE.....	37
4.4.1	PROFUNDIDAD DE CIERRE	37

4.4.2	PROFUNDIDAD ACTIVA	38
4.5	METODOLOGÍA DE DISEÑO	38
4.5.1	MURO DE ESCOLLERA	38
4.5.2	MUROS COSTEROS DE CONTENCIÓN	43
5	CARACTERIZACIÓN DEL MEDIO FÍSICO	48
5.1	CARACTERIZACIÓN BATIMÉTRICA.....	48
5.1.1	GRANULOMETRÍA DEL SUELO MARINO LOCAL	49
5.2	CARACTERIZACIÓN DEL OLEAJE	51
5.2.1	CLIMA EN AGUAS PROFUNDAS.....	51
5.2.2	TRANSFERENCIA ESPECTRAL	54
5.2.3	CLIMA EN EL NODO N1	56
5.3	CARATERIZACIÓN DE LAS MAREAS.....	58
5.3.1	NIVEL DE MAREA ASTRONÓMICA	58
5.3.2	NIVEL DE MAREA METEOROLÓGICA	59
5.4	CARACTERIZACIÓN DE LAS CORRIENTES.	61
5.4.1	CORRIENTE POR OLEAJE	61
5.5	CARACTERIZACIÓN DEL VALOR ACTUAL	62
6	CRITERIOS DE DISEÑO.....	64
6.1	BASES DE DISEÑO.....	64
6.1.1	VALOR ACTUAL	64
6.2	CONDICIONANTES DE DISEÑO	64
6.2.1	RESISTENCIA Y CALIDAD DEL SUELO DE FUNDACIÓN.....	64
6.2.2	OLEAJE DE DISEÑO	65
6.2.3	NIVEL DE DISEÑO.....	65
7	PROPUESTAS DE ALTERNATIVAS.....	66
7.1	ESCENARIO 1	66
7.1.1	CONFIGURACIÓN EN PLANTA	67
7.1.2	DISEÑO HIDRÁULICO.....	67
7.1.3	SECCIÓN TRANSVERSAL	69
7.1.4	CUBICACIONES	69
7.2	ESCENARIO 2	70
7.2.1	CONFIGURACIÓN EN PLANTA	71
7.2.2	DISEÑO ESTRUCTURAL	71
7.2.3	SECCIÓN TRANSVERSAL	75
7.2.4	CUBICACIONES	75
8	SELECCIÓN DE ALTERNATIVA.....	76
8.1	VALOR DEL TERRITORIO EN ESCENARIO 1.....	76
8.2	VALOR DEL TERRITORIO EN UN ESCENARIO 2	77
9	CONCLUSIONES	78

9.1	MARCO TEÓRICO Y METODOLOGÍA	78
9.2	ZONA DE ESTUDIO.....	78
9.3	CARACTERIZACIÓN DEL MEDIO	78
9.4	DEFINICIÓN DE CRITERIOS DE DISEÑO	78
9.5	ESCENARIOS DE EXPLOTACIÓN	79
9.6	DISEÑO ESTRUCTURAL	79
9.7	ASIGNACIÓN DE VALOR.....	79
10	Recomendaciones	80
11	Trabajos citados.....	81
	Anexo A: Zona de estudio.....	84
	Anexo B: Valorización costera	86
	Anexo C: Caracterización del medio	89
	Anexo D: Memorias de cálculo	93

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 Fotografías zona de estudio. Fuente: Elaboración propia en mayo 2017.	1
Figura 2.1: Zona de estudio. Fuente: Elaboración propia con datos de (Google, 2017)	3
Figura 2.2: Evolución histórica de la zona de estudio. Fuente: (Cobos, 1999) y (Google, 2017)	4
Figura 3.1: Tipos de ondas en la interfase océano-atmósfera. Fuente: (Silva, 2005).	8
Figura 3.2: Parámetros de oleaje. Fuente: (Holthjuitsen, 2007).	8
Figura 3.3: Inicio del movimiento. Fuente: (Holthjuitsen, 2007).	9
Figura 3.4: Generación de oleaje por presión de viento. Fuente: (Holthjuitsen, 2007).	10
Figura 3.5: Dispersión radial de frecuencias y direcciones. Fuente: (Holthjuitsen, 2007). ..	11
Figura 3.6: Mar de fondo y mar de viento respectivamente. Fuente: (Silva, 2005) y (Stockton, 2014).	11
Figura 3.7: Trayectorias orbitales según profundidades. Fuente: (Holthjuitsen, 2007).	12
Figura 3.8: Proceso de asomeramiento. Fuente: elaboración propia.	13
Figura 3.9: Proceso simplificado de refracción. Fuente: (Holthjuitsen, 2007).	13
Figura 3.10: Proceso simplificado de difracción. Fuente (Holthjuitsen, 2007):.....	14
Figura 3.11: Tipos de rotura. Fuente: (Kamphuis, 2000).	16
Figura 3.12: Influencia de un cuerpo celeste en las mareas. Fuente: (Kamphuis, 2000)..	20
Figura 3.13: Tipos de mareas astronómicas. Fuente: (USACE, 2006).	21
Figura 3.14: Señal de marea en Valparaíso. Fuente: (IOC, 2017).....	22
Figura 3.15: Efecto de la presión atmosférica sobre columna de agua. Fuente: (Dean & Dalrymple, 2004).	23
Figura 3.16: Efecto del viento sobre el nivel de la columna de agua. Fuente: (Kamphuis, 2000).	23
Figura 3.17: Efectos del oleaje en el nivel medio del mar. Fuente: (USACE, 2003).	24
Figura 3.18: Circulación Termohalina. Fuente: (UNAM, 2000).	25
Figura 4.1: Planos referenciales de la marea. Fuente: (SHOA, 1999).	36
Figura 4.2: Sección tipo de escollera de protección. Fuente: (USACE, 2002).	39
Figura 4.3: Tipos de pie de apoyo. Fuente: (USACE, 2002).....	42
Figura 4.4 Diagrama de cuerpo libre de un muro cantiléver, Fuente: (DOP, 2013)	43
Figura 4.5 Esquema de socavación en muros verticales para oleaje rompiente. Fuente: (USACE, 2002).....	47
Figura 5.1: Batimetría interpolada con resolución de 25 [m]. Fuente: Elaboración propia, con datos de DESMAR Ltda. y SHOA.	49
Figura 5.2 Clasificación sedimentológica, fuente: (Molteni, 2014).	50
Figura 5.3: Fotografía del sedimento de la playa. Fuente: Elaboración propia en mayo, 2017.	50
Figura 5.4 Nodo en aguas profundas. Fuente: (Google, 2017).	51
Figura 5.5: Rosas de oleaje, periodo dirección y altura dirección. Fuente: elaboración propia, con datos de (Beyá, et al., 2016).....	52
Figura 5.6: Análisis de largo plazo en aguas profundas. Fuente: elaboración propia, con datos de (Beyá, et al., 2016).	53
Figura 5.7: Punto de inicio y final de la transferencia espectral. Fuente: (Google, 2017). ..	54
Figura 5.8 Coeficiente de agitación total (Kt). Fuente: elaboración propia.....	55
Figura 5.9 Coeficiente direccional (Kd). Fuente: Elaboración propia	55
Figura 5.10 Nodo de extracción de coeficientes de agitación total y direccional. Fuente: (Google, 2017).....	56

Figura 5.11 Oleaje extremo en N1 Fuente: Elaboración propia.....	57
Figura 5.12: Histograma de amplitudes. Fuente: Elaboración propia.	59
Figura 5.13: Marea Meteorológica. Fuente: elaboración propia, con datos (IOC, 2017)...	60
Figura 5.14 Marea meteorológica extrema Fuente: Elaboración propia con dato de (IOC, 2017)	61
Figura 7.1 Plano en planta de alternativa 1. Fuente: Elaboración propia con datos de (Google, 2017).....	67
Figura 7.2 Plano perfil de escollera Fuente: Elaboración propia	69
Figura 7.3 Plano en planta de alternativa 2. Fuente: Elaboración propia con datos de (Google, 2017).....	71
Figura 7.4 Diagrama de cuerpo libre. Fuente: elaboración propia.....	73
Figura 7.5 Plano en perfil de sección de muro cantiléver. Fuente: Elaboración propia.....	75

LISTA DE TABLAS

Tabla 3.1: Comparación entre modelos numéricos que propagan ondas.....	17
Tabla 3.2: Vida útil mínimas para obras o instalaciones de carácter definitivo.	27
Tabla 3.3: Riesgos máximos admisibles.	27
Tabla 4.4.1: Distribuciones candidatas linealizadas.	32
Tabla 4.2 Parámetros geométricos de Owen (1982).....	40
Tabla 4.3 Parámetros de permeabilidad de Owen (1982)	40
Tabla 4.4 Valores típicos de coeficiente de estabilidad de Hudson (1974).....	40
Tabla 5.1 Detalle de información batimétrica	48
Tabla 5.2 Diámetros característicos relevantes en la zona sumergida de playa san mateo	50
Tabla 5.3 Incidencia de periodo vs. altura.....	52
Tabla 5.4 Largo plazo en aguas profundas.....	53
Tabla 5.5 Incidencia de alturas vs. direcciones.....	57
Tabla 5.6 Periodos de retorno de oleaje extremo en N1	58
Tabla 5.7 Principales constituyentes armónicas.....	59
Tabla 5.8 Marea meteorológica extrema.....	61
Tabla 5.9 Influencia del transporte trasversal.....	62
Tabla 5.10 Descomposición del valor actual	63
Tabla 6.1 Bases de diseño	64
Tabla 6.2 Oleaje de diseño en el sitio	65
Tabla 6.3 Oleaje de diseño al pie de la obra	65
Tabla 6.4 Nivel de diseño	65
Tabla 6.5 Corriente de diseño.....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 7.1 Análisis F.O.D.A. Alternativa 1	66
Tabla 7.2 Variables utilizadas en Ec.4.11	68
Tabla 7.3 Variables utilizadas en Ec. 4.12	68
Tabla 7.4 Peso de elementos de muro de escollera	68
Tabla 7.5 Variables utilizadas en Ec. 4.16	69
Tabla 7.6 Cubicación escenario industrial.....	70
Tabla 7.7 Análisis F.O.D.A. alternativa 2.....	70
Tabla 7.8 Parámetros de diseño del suelo de relleno y fundación.....	72
Tabla 7.9 Empujes percibidos por el muro cantiléver.....	73

Tabla 7.10 Resumen de fuerzas deslizantes y resistentes.....	73
Tabla 7.11 Resumen de momentos volcantes y resistentes.....	74
Tabla 7.12 Factor de seguridad	74
Tabla 7.13 Comprobación de presiones admisibles.....	74
Tabla 7.14 Cubicaciones escenario social Muro A.....	75
Tabla 8.1 Valor de alternativa 1	76
Tabla 8.2 Valor de alternativa 2	77

LISTA DE ANEXOS

Anexo A 1 Plano de Valparaíso 1855	84
Anexo A 2 Plano de Valparaíso 1928	85
Anexo A 3 plano de Valparaíso 1988.....	85
Anexo B 1 criterios de jerarquización del valor ambiental	86
Anexo B 2 criterios de jerarquización del valor económico	87
Anexo B 3 criterios de jerarquización del valor urbano-sociocultural.....	88
Anexo C 1 Tabla de incidencia de oleaje en aguas profundas altura Vs. dirección	89
Anexo C 2 tabla de incidencia de oleaje en aguas profundas periodo Vs. dirección	90
Anexo C 3 valores extremos de oleaje en aguas profundas, seleccionados con el método de máximos anuales.....	90
Anexo C 4 resultado de propagación con swan: Coeficiente de agitación total (KT)	91
Anexo C 5 resultados de propagación con swan: coeficiente direccional (KD)	91
Anexo C 6 Valores extremos de oleaje en N1.....	92
Anexo C 7 Valores extremos de marea meteorológica	92
Anexo D 1 Caudal admisible de sobrepaso por metro lineal de muro	93
Anexo D 2 presiones admisibles distintos tipo de suelos	94
Anexo D 3 francobordo, muro de escollera	95
Anexo D 4 peso de elementos, muro de escollera	95
Anexo D 5 Geometría de muro cantiléver	96
Anexo D 6 Parámetros de suelo	96
Anexo D 7 Diseño a flexión, muro cantiléver.....	97
Anexo D 8 Gaviones galvanizados	98

RESUMEN

El presente informe tiene como objetivo proponer a nivel de ingeniería conceptual, dos alternativas de diseño que busquen agregar valor a la zona territorial costera de playa San Mateo.

Para lograrlo, primero se caracteriza el sitio en cuestión, el cual actualmente es una playa artificial de carácter recreativo con uso frecuente por la Armada de Chile. Su última intervención fue hace más de medio siglo.

Las condiciones naturales son obtenidas para el diseño infraestructural mediante estudios de ingeniería oceánica. Estas son: oleaje reinante de 0.5 [m] de altura, dirección NW y periodo 14 [s]; el oleaje dominante de 4.85 [m] de altura, dirección WNW y 10 [s] de periodo; el nivel de diseño es de 2.93 [m] sobre NRS (incluyendo forzante astronómica y meteorológica) y las corrientes comienzan a transportar sedimento transversalmente desde los 15 [m] de profundidad.

Luego se determinan las bases de diseño: vida útil de 25 [años]; riesgo máximo admisible es 0.3, debido a lo anterior se asume un periodo de retorno de 70 [años].

Mediante un proceso iterativo, se diseñan dos alternativas en el marco de dos escenarios de explotación: uno que fomente la participación industrial en la zona y otro que fomente la participación ciudadana. Utilizando las normas NCh, Manual de Carreteras y otras recomendaciones internacionales se calculan dos muros costeros de contención, uno del tipo gravitacional hecho con un talud de escollera cuyos elementos de manto superan las 5 [T] de peso, ubicado a aproximadamente 7.25 [m] de profundidad y otro costero del tipo cantiléver de hormigón armado cuya altura útil es de 4 [m], para cada escenario respectivamente.

Utilizando la metodología de valorización costera propuesta por Viveros (2016) se calcula el valor de ambas proyecciones y comparan. Concluyendo que el escenario social aumenta en mayor medida el valor alcanzando una magnitud de 7.7 unidades.

1 INTRODUCCIÓN

La ciudad de Valparaíso fue concebida en 1544 con un carácter portuario industrial (Cobos, 1999), en ella se ubican (además del Puerto de Valparaíso) importantes instituciones nacionales tales como: Congreso Nacional, Comandancia en Jefe de la Armada de Chile, Aduanas, y Universidades. Posee una historia basada en la llegada de inmigrantes, estableciendo una rica vida multicultural plasmada en la arquitectura y desarrollo de la ciudad, por lo que fue declarada Patrimonio de la Humanidad por la UNESCO en 2003.

Existen 7 playas en la comuna de Valparaíso: Torpederas, Las Docas, Laguna Verde, Carvalho, Placeres, Portales y San Mateo, siendo sólo la primera apta para el baño (DIRECTEMAR, 2017).

La zona territorial costera de Playa San Mateo ha sido intervenida y revalorizada continuamente. Desde 1850 a 1960 ha pasado de ser locación del primer astillero de América del Sur a una playa artificial de tipo recreativo no apta para el baño, construida por la Ilustre Municipalidad de Valparaíso (Cobos, 1999). Esta playa deslinda con el ex fuerte Batería Esmeralda, declarado Monumento Nacional en el año 1938, siendo la primera construcción de interés histórico en Valparaíso que alcanzó la categoría de Monumento Nacional (Figura 1.1).



FIGURA 1.1 FOTOGRAFÍAS ZONA DE ESTUDIO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA EN MAYO 2017.

En la actualidad, el sector no se ha vuelto a intervenir, se proponen dos alternativas de obras marítimo-costeras que aumenten el vector valor, con una magnitud de 6.6 unidades de valor según la metodología de valorización costera propuesto por Viveros (2016). Para llevarlas a cabo, se toman en cuenta dos horizontes de explotación, uno que aumente la participación portuaria en la zona territorial en el marco de un escenario industrial de explotación y otro que incentive la participación ciudadana dentro de un escenario social de explotación, ambos escenarios deben conservar el Monumento Nacional.

1.1 OBJETIVO GENERAL

Proponer a nivel de ingeniería conceptual, dos alternativas de diseños que busquen agregar valor a la zona costera de playa San Mateo.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Identificar y caracterizar las variables ambientales del lugar, a través de estudios de oleaje, mareas y corrientes litorales.
2. Diseñar dos alternativas de revalorización mediante formulaciones expuestas en: Coastal Engineering Manual, normas chilenas (INN), entre otros manuales nacionales e internacionales
3. A partir de la metodología de valorización multidimensional de la zona costera propuesta por Viveros (2016), estimar el valor localmente el territorio incorporando la proyección de cada alternativa de solución.
4. Analizar las alternativas propuestas y seleccionar la que aumente en mayor medida el vector valor de la zona.

1.3 ALCANCES

Este proyecto tiene como alcance proponer a nivel de ingeniería conceptual dos diseños de obras costeras en el marco de un escenario industrial y otro social.

La propuesta industrial solo considera el diseño hidráulico estructural, no considera el diseño en planta operacional. La propuesta social al igual que la anterior no considera el diseño arquitectónico.

No se considera el impacto vial que tendrá cualquiera de las soluciones en la ciudad, ni la alimentación de servicios básicos al sector proyectado. Tampoco se considera la viabilidad económica, la operación de las obras propuestas ni la factibilidad constructiva respecto a empréstito de rocas de alto tonelaje.

1.4 LIMITACIONES

Las limitaciones del estudio están principalmente relacionadas con la carencia de información específica sobre el terreno en cuestión. Sin embargo, tratándose de un estudio de ingeniería a nivel conceptual, la incertidumbre asociada es tolerable.

2 ZONA DE ESTUDIO

Las propuestas de diseño para revalorizar el borde costero se ubican en la región, provincia y comuna de Valparaíso. Específicamente en el sector que contempla la actual playa San Mateo y zona de estacionamientos de la Armada de Chile, inmediatamente al costado Oeste del puerto de la ciudad. El área de interés se extiende desde el muro que sostiene la Av. Altamirano hasta el veril de los -15 metros. A continuación, se presenta un área aproximada de estudio (Figura 2.1):



FIGURA 2.1: ZONA DE ESTUDIO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON DATOS DE (GOOGLE, 2017)

En el año 1845, el ingeniero Juan Duprat obtuvo los terrenos que hoy se encuentra la zona territorial costera de playa San Mateo en concesión para instalar un astillero que funcionó hasta 1901, consolidando la zona como Punta Duprat. Luego en 1866, posterior al bombardeo español, se construyó en la zona el Fuerte Esmeralda, con el fin de proteger al astillero y al puerto de próximos ataques. Entre los años 1912 y 1919 la compañía "S. Pearson & Son" construyó el molo de abrigo que hoy caracteriza la poza de operación del Puerto de Valparaíso, el que tiene su arranque en Punta Duprat al costado del Fuerte Esmeralda, provocando una división del borde costero, definiendo una zona de explotación portuaria y otra de uso público. A fines de la década de 1960, el lugar fue nuevamente intervenido, esta vez por la I. Municipalidad de Valparaíso, quien construyó la playa artificial de San Mateo entre el molo de abrigo y el antiguo sector de Las Habas (Sáez, 1999).

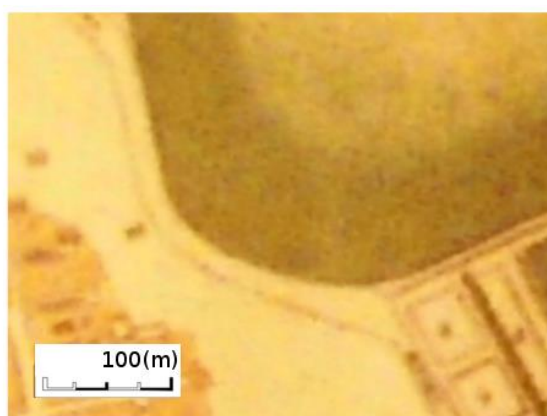
Hoy, es una playa abierta a los 22,5° o al NNE, encajada por la Av. Altamirano hacia el Oeste y por el arranque del molo de abrigo en su límite Este. Es utilizada principalmente como balneario y zona de estacionamientos, donde la Armada de Chile vierte escombros para aumentar la zona de estacionamientos (Arriagada, 2015), además de ocupar el

sector como centro de maniobras y adiestramiento. Cuenta con una pequeña infraestructura de uso público que consta de accesos, camarines equipados y un espacio comercial que es operado por un kiosco, hoy en calidad de abandono. La zona de estudio tiene un largo total de 320 metros aproximadamente entre playa y estacionamientos.

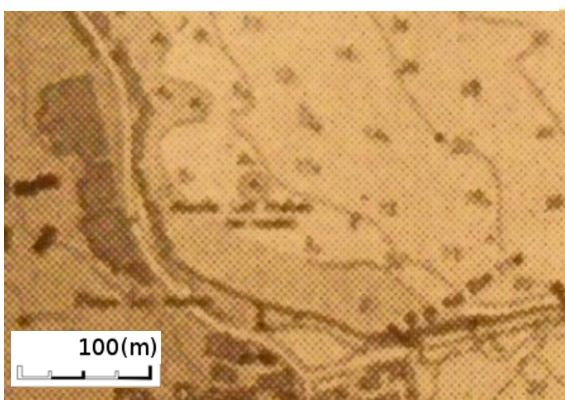
A continuación, se presenta una evolución histórica gráfica, que consiste en tres partes de planos históricos extraídos del libro Cartografía Histórica de Valparaíso, escrito por Cobos (1999) presentes en el Anexo A 1y una foto satelital; la primera sección de plano corresponde a un dibujo realizado el año 1879 (letra A de la Figura 2.2), muestra el fuerte Esmeralda ya construido en Punta Duprat, antes de la construcción del molo. La segunda sección de plano es un extracto de un plano de la rada de Valparaíso, realizado en 1928 (letra B de la Figura 2.2) enseña el rompeolas ya construido, con la zona de interés erosionada. La tercera sección de plano fue obtenida del plano de bahía y puerto de Valparaíso, realizado en el año 1971 (letra C de la Figura 2.2) muestra la playa artificial que construyó la I. Municipalidad de Valparaíso a fines de la década de 1960. Finalmente, la foto satelital (letra D de la Figura 2.2) muestra como es actualmente la zona, dando como resultado la visualización de la revalorización que ha sufrido la zona a lo largo de la historia.



I. Sección de plano dibujado en 1879



II. Sección de plano cartografiado en 1928



II. Sección de plano realizado en 1971



I. Foto satelital actual

FIGURA 2.2: EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LA ZONA DE ESTUDIO. FUENTE: (COBOS, 1999) Y (GOOGLE, 2017)

3 MARCO TEÓRICO

En este capítulo se expone una descripción teórica de los conceptos involucrados.

3.1 VALORIZACIÓN DEL TERRITORIO

La costa, especialmente la presente en sectores urbanos está abierta a diversos escenarios de valorización, desde un medio de intercambio mercantil, pasando por un área turística dada por su configuración espacial hasta el paisajismo que ésta posee, el cual es transversal a turistas y residentes. Estas variables permiten asignar un valor territorial costero el cual se cuantifica tomando en cuenta las cualidades presentes él (Viveros, 2016).

3.1.1 VALOR COMO VECTOR

El concepto de valor se define como un vector de tres componentes, donde se representa una incorporación de diversas áreas de explotación. las componentes son: valor ambiental, valor económico y valor urbano- sociocultura. La magnitud del vector valor se estima con la ecuación 3.1 (Viveros, 2016).

$$Valor = \sqrt{(V.ambiental)^2 + (V.económico)^2 + (V.urano - sociocultural)^2} \quad \text{Ec. 3.1}$$

3.1.1.1 VALOR AMBIENTAL

Las particularidades naturales presentes en la zona costera y sus elementos, tanto ecológicos como geográficos, corresponden a la componente ambiental del valor, se determina observando los ecosistemas presentes en el área a analizar considerando el nivel de intervención humana. Los principales elementos son (Viveros, 2016):

- I. Presencia de hábitats costero: se refiere a la calidad de los ecosistemas y a la intervención humana, mientras mayor sea la intervención, menor será este ámbito del valor ambiental cualitativo.
- II. Atractivo escénico: considera las posibilidades de acceder libremente al litoral, fomentando el uso recreacional y el turismo.
- III. Áreas verdes (Parques): referente a la existencia, conservación y acceso a parques y áreas de uso público.

La jerarquización del valor ambiental se muestra en la tabla del Anexo B 1 criterios DE JERARQUIZACIÓN DEL VALOR AMBIENTAL” que permite examinar las características que incluyen el estado de conservación de los ecosistemas, los accesos y presencia de áreas verdes (Viveros, 2016).

El valor ambiental entonces, se puede clasificar en una escala cualitativa de 1 a 5, donde 1 es un valor ambiental muy bajo, 2 es un valor ambiental bajo, 3 es un valor ambiental

medio, 4 es un valor ambiental importante y finalmente el numero 5 indica un valor ambiental alto. Se presentan la tabla de jerarquización ambiental en Anexo B 1.

3.1.1.2 VALOR ECONÓMICO

La componente económica del vector valor corresponde a un potencial mercantil estimable de la zona costera, especialmente fomentado por la creciente oferta inmobiliaria, el territorio urbano es considerado como un bien intercambiable por las leyes de la oferta y la demanda. El valor económico engloba los siguientes aspectos (Viveros, 2016):

- I. Uso de suelo: El uso del suelo, para cada sector territorial, está dado por el plan regulador comunal y es uno de los aspectos más importantes al señalar un valor económico, el territorio como recurso está dominado por la especulación, siendo utilizado como un recurso transable.
- II. Oferta inmobiliaria: el valor económico del territorio es proporcional al mercado habitacional presente en él, si la demanda habitacional es mayor a la oferta inmobiliaria, el valor del suelo aumenta, o viceversa.
- III. Tipo de vecindario: Este aspecto afecta directamente en la oferta inmobiliaria, la componente económica del valor es mayor si en la zona existe una alta seguridad urbana o diversos espacios de uso público como parques, plazas u otra infraestructura urbana.
- IV. Densidad de construcción: La cantidad de viviendas por metro cuadrado es otro factor de la componente económica del valor, una densidad urbana alta disminuye de valor territorial.
- V. Tipología constructiva: El tipo de edificación observado y sus cualidades físicas son una componente importante a la hora de asignar un valor económico del suelo, mientras más ligeras sean las construcciones, menor será la componente valórica.

El valor económico entonces, se puede clasificar en una escala cualitativa de 1 a 5, donde 1 es un valor económico muy bajo, 2 es un valor económico bajo, 3 es un valor económico medio, 4 es un valor económico importante y finalmente el numero 5 indica un valor económico alto. Para jerarquizar esta escala se presenta una tabla de criterios cualitativos, donde se desglosa cada componente de la escala en el Anexo B 2

3.1.1.3 VALOR URBANO-SOCIOCULTURAL

El equipamiento urbano de uso público inserto en los entornos urbanos da valor al territorio costero, mientras mayor sea la presencia de sistemas viales, sanitarios, de transporte (entre otros) mayor será la componente urbano-sociocultural del vector valor. Contempla los siguientes aspectos (Viveros, 2016):

- I. Red vial: el acceso a las zonas urbanas es importante a la hora de valorizar el territorio, una red de conectividad vial robusta aumente la componente urbano-sociocultural
- II. Sistemas de transporte público: El fácil desplazamiento de las personas en una zona urbana es un aspecto importante en la componente urbano-sociocultural del vector valor. eficientes sistemas de transporte público aumentan la valorización del territorio.
- III. Equipamiento urbano: El bienestar de los ciudadanos se ve reflejado en el acceso que estos tienen a redes sanitarias, redes de telefonía y servicios básicos, siendo un aspecto que agrega valor urbano-sociocultural.
- IV. Infraestructura, servicios de uso público: los servicios de asistencia urbana como hospitales, bomberos u otras infraestructuras destinada a favorecer a la civilización incrementan la componente urbano-sociocultural del vector valor.

El valor urbano-sociocultural, se puede clasificar en una escala cualitativa de 1 a 5, donde 1 es un valor urbano-sociocultural muy bajo, 2 es un valor urbano-sociocultural bajo, 3 es un valor urbano-sociocultural medio, 4 es un valor urbano-sociocultural importante y finalmente el numero 5 indica un valor urbano-sociocultural alto. Para jerarquizar esta escala se presenta una tabla de criterios cualitativos, donde se desglosa cada componente de la escala en el Anexo B 3.

3.1.2 VALOR ACTUAL DE LA ZONA

Según Álvaro Viveros (2016), la zona que comprende la playa San Mateo y el estacionamiento que utiliza hoy la Armada de Chile, tiene un valor ambiental de 3.3, un valor económico de 3.2 y un valor urbano-sociocultural de 4.8. Es por lo que la magnitud de vector valor para la zona es de 6.6 unidades de valor.

3.2 OLEAJE

El oleaje como fenómeno físico contempla una onda controlada por la acción directa de los estímulos presentes en la naturaleza sobre cualquier superficie libre de una columna de agua, el tipo de onda depende del tipo de estímulo. El más abundante de estos estímulos es la acción del viento sobre el mar. Sin embargo, existen otras fuentes de oleaje como terremotos, aludes, erupciones volcánicas entre otros (Silva, 2005)

No todas las ondas presentes en la interfaz océano-atmósfera se definen como oleaje, existen ondas largas con periodos superiores a 12 horas como las ondas de mareas y ondas cortas cuyos periodos son menores a 0.1 segundos como las ondas capilares (GIOC, 2000). Cada forzante de onda induce una onda respuesta con diferentes longitudes, periodos y mecanismos de control tal como se observa en el siguiente espectro de energía (Figura 3.1), donde se visualiza la cantidad de energía promedio, que tiene cada tipo de onda en la interfase océano-atmósfera, asociada una frecuencia determinada. Además, se incluyen las fuerzas generadoras y restauradoras de cada onda.

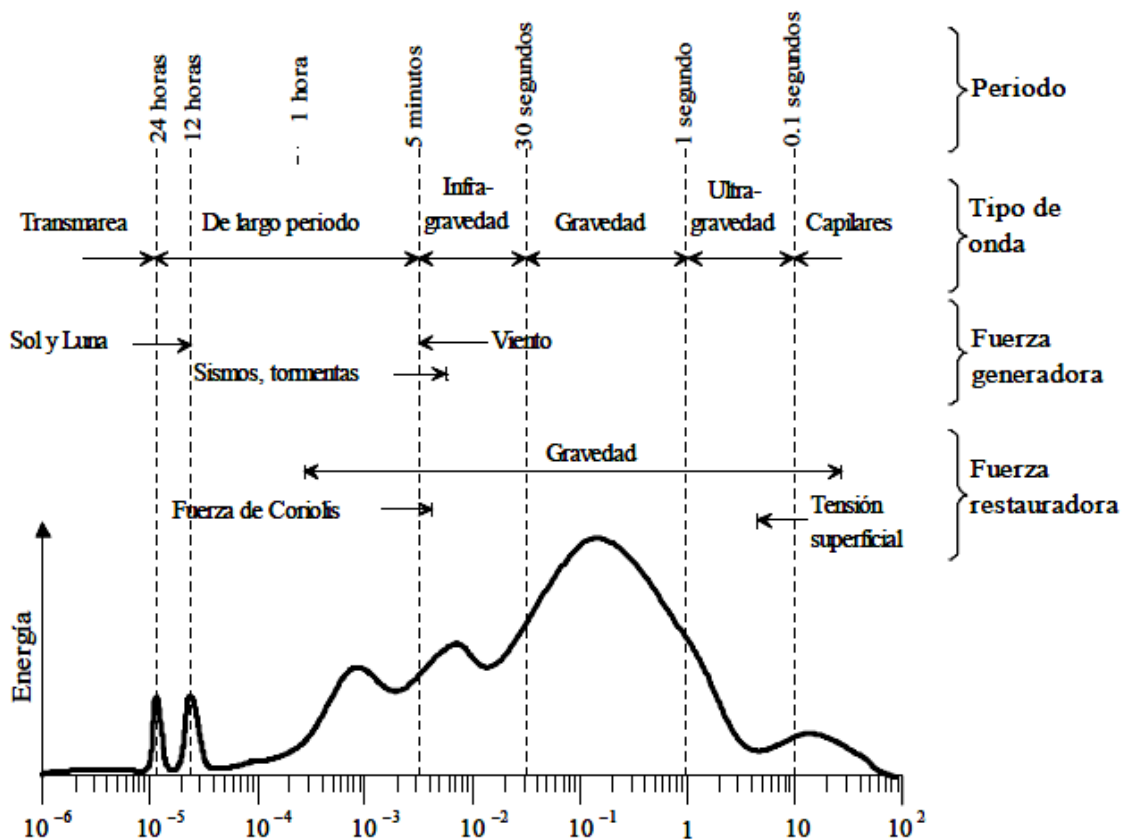


FIGURA 3.1: TIPOS DE ONDAS EN LA INTERFASE OCÉANO-ATMÓSFERA. FUENTE: (SILVA, 2005).

El oleaje propiamente tal corresponde a las ondas del tipo gravitatorias, las cuales tienen el mayor porcentaje de la energía en el océano (Figura 3.1). Estas ondas mantienen periodos de entre 1 y 30 segundos, su fuerza generadora es el viento y su fuerza restauradora es la gravedad, son las más importantes para los problemas de interés de la ingeniería marítima (GIOG, 2000).

Para comprender la clasificación de ondas, se presentan los parámetros más importantes que caracterizan a una onda de oleaje (Figura 3.2).

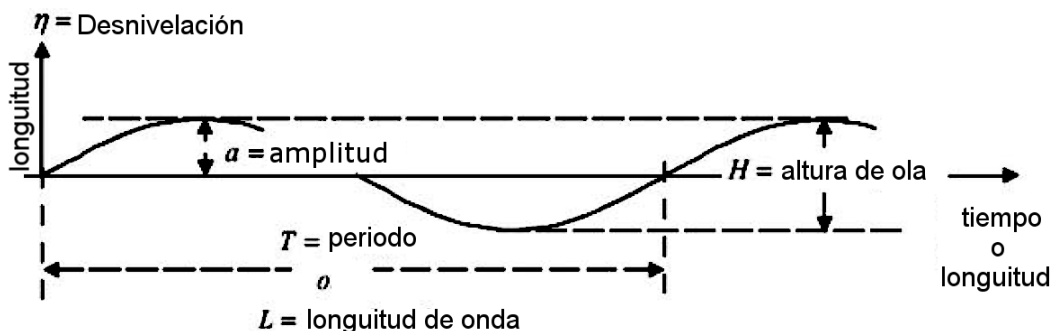


FIGURA 3.2: PARÁMETROS DE OLAJE. FUENTE: (HOLTHJUITSEN, 2007).

Se definen los parámetros presentes en la Figura 3.2 como:

- Longitud de onda : Distancia horizontal entre dos crestas o valles sucesivos.
- Periodo : Lapso de tiempo entre dos crestas o valles sucesivos.
- Altura de ola : Distancia entre el nivel del mar y la cresta de una onda.
- Amplitud : Distancia vertical total, entre cresta y valle.

3.2.1 GENERACIÓN DE OLEAJE

Se conoce como Fetch o largo de área de generación, a la zona donde existe una cesión sostenida de energía por parte del viento hacia la superficie libre del océano. Es allí donde el fenómeno físico es totalmente aleatorio, aunque la dirección predominante del oleaje será la del viento (Silva, 2005).

Según Leo Holthjuitsen (2007) teóricamente, se inicia el movimiento en la superficie libre quieta del mar cuando una corriente de viento sopla por encima del agua, esta diferencia de velocidades entre ambos fluidos, de carácter aleatoria, produce campos de presión irregulares y normales a la superficie (Figura 3.3).

La teoría está basada en la afirmación de que la velocidad de viento se relaciona con la presión atmosférica instantánea, cuando esto sucede, se produce un traspaso de energía del viento al mar en la interfaz océano-atmósfera, debido a la fricción entre fluidos. El medio marino, por su parte, cuenta con la tensión superficial que permite incorporar energía con ondas capilares que van creciendo poco a poco en amplitud y disminuyendo en frecuencia con el paso del tiempo.

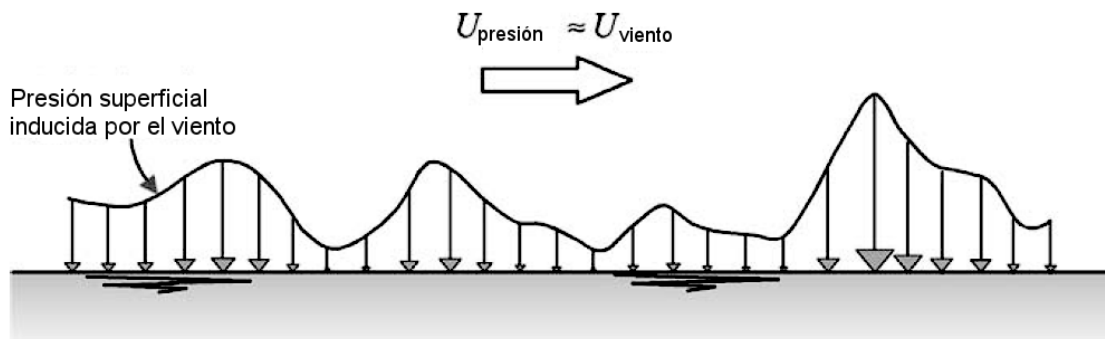


FIGURA 3.3: INICIO DEL MOVIMIENTO. FUENTE: (HOLTHJUIITSEN, 2007).

Una vez iniciado el movimiento dentro de un Fetch (considerando la superficie ya deformada), el mar sigue concentrando energía del viento en un proceso de retroalimentación positiva de la siguiente manera: se supone una corriente de viento constante en magnitud y permanente en el tiempo, ésta ejerce una presión positiva sobre una cara (cara expuesta) de la ola y presión negativa en la otra (cara oculta) produciendo un incremento en la altura y periodo (Figura 3.4). A medida que aumentan dichos parámetros, la ola ofrecerá una mayor resistencia y responderá con presiones aún más altas, que generan olas más grandes y así sucesivamente (Holthjuitsen, 2007).

A continuación, se presenta un esquema del proceso descrito (Figura 3.4), donde se observa que la cara expuesta sufre un descenso de nivel, permitiendo crestas más altas,

y a su vez, la cara oculta tiende a ascender produciendo valles más bajos. Lo anterior gracias a que la superficie permite movimientos continuos.

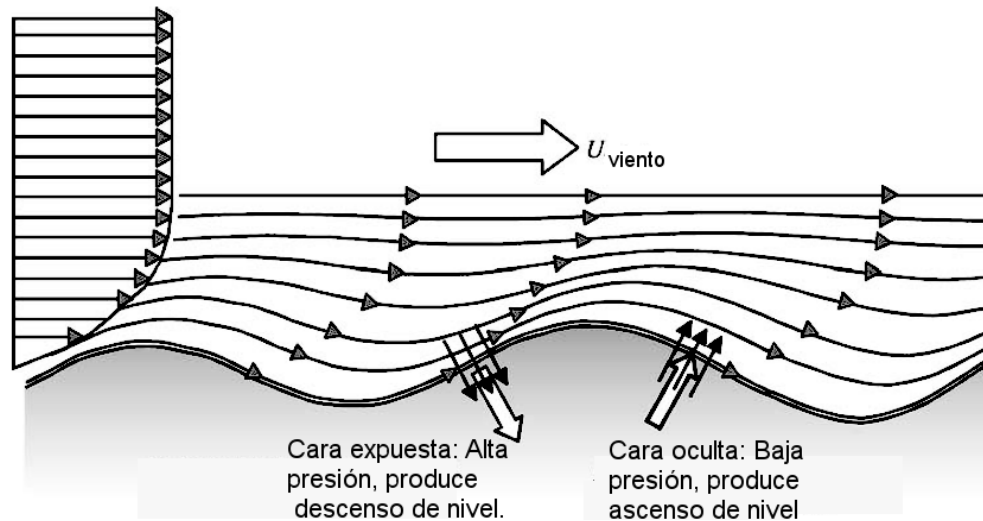


FIGURA 3.4: GENERACIÓN DE OLAJE POR PRESIÓN DE VIENTO. FUENTE: (HOLTHJUISEN, 2007).

Aunque el viento sopla eternamente sobre un Fetch ilimitado, la generación llega a su equilibrio cuando la energía transmitida por el viento sea igual a la disipada por el oleaje. A este fenómeno de equilibrio energético se denomina “Mar completamente desarrollado” (Silva, 2005), sin embargo, al ser un proceso aleatorio, el oleaje no siempre logra alcanzar dicho equilibrio.

Los parámetros de la generación de oleaje dependen de la influencia sostenida en el tiempo del viento y de un área de generación. Si el tiempo es lo suficientemente prolongado, pero el área es muy pequeña, el oleaje generado estará limitado por Fetch, en cambio si el área es suficientemente amplia pero el tiempo es muy corto, el oleaje generado será limitado por duración (Silva, 2005).

3.2.2 PROPAGACIÓN OCEÁNICA

Una vez que el oleaje se aleja de la zona de creación, su energía se propaga según su frecuencia, las olas con frecuencias mayores (periodos menores), tienen una celeridad de onda mayor que olas con frecuencias menores, las olas de la misma frecuencia tienden a reunirse con otras de la misma frecuencia, logrando un orden en el oleaje conocido como dispersión radial de frecuencias. Análogamente, la onda de oleaje se desplaza en todas direcciones, formando una dispersión radial de direcciones (Silva, 2005).

Se observa en la Figura 3.5 que las frecuencias mayores (f_1) se agrupan y avanzan más rápido. En cambio, las frecuencias menores (f_2) quedan atrás agrupándose.

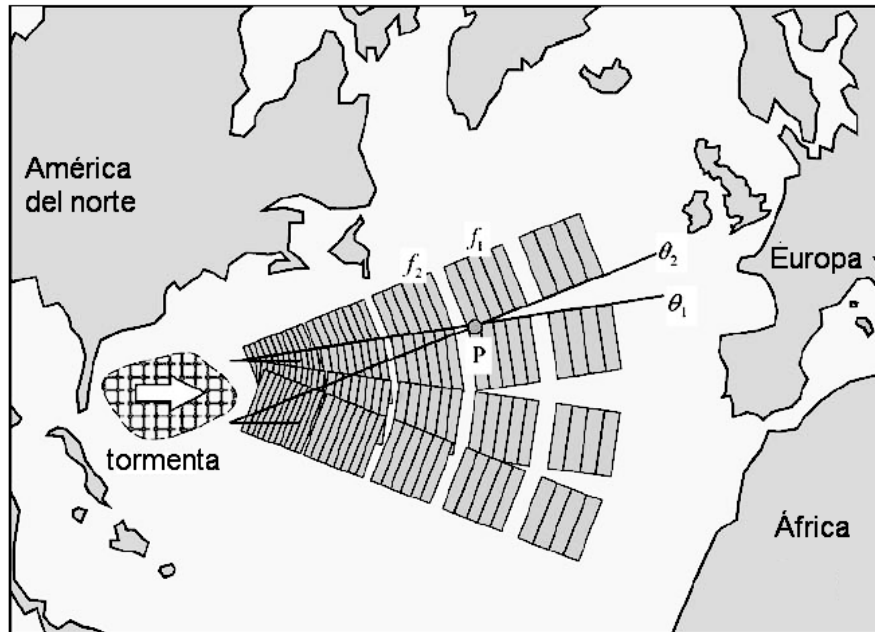


FIGURA 3.5: DISPERSIÓN RADIAL DE FRECUENCIAS Y DIRECCIONES. FUENTE (HOLTHJUITSEN, 2007):.

Si el oleaje alcanza a desarrollar una doble dispersión radial completa, de frecuencias y direcciones, se produce un filtrado del oleaje, produciendo un oleaje de generación lejana o “Swell” (Silva, 2005). Sin embargo, mar adentro, cerca de la zona de generación, o donde predominan las frecuencias más altas, se forma un oleaje asimétrico que carece de periodicidad con gran desigualdad entre cresta y valle. Cuando esto ocurre se observa un oleaje de generación local o “Sea” (Silva, 2005). A continuación, se presentan dos fotografías que ejemplifican ambos tipos de oleaje, el mar de fondo relacionado con una generación distante y el mar de viento, relacionado con una generación cercana.



FIGURA 3.6: MAR DE FONDO Y MAR DE VIENTO RESPECTIVAMENTE. FUENTE: (SILVA, 2005) Y (STOCKTON, 2014).

En el océano, específicamente en altamar, la profundidad relativa (ratio entre la profundidad y la longitud de onda) es muy inferior a 0.5 (Silva, 2005), dicho de otro modo, se considera como aguas profundas, cuándo la profundidad es mayor a la mitad de la longitud de ondas. Si se cumple esta inecuación, el fondo marino no influye en el desplazamiento energético.

3.2.3 PROPAGACIÓN COSTERA

Una vez que el oleaje se acerca a las costas, la profundidad del océano disminuye parcialmente, debido a esto y a la composición molecular del agua, la transferencia de energía comienza a tener disipaciones por efectos de la fricción de fondo (Holthuijsen, 2007) considerando un talud fijo y plano, se forman desplazamientos orbitales cada vez más pronunciados a medida que la profundidad disminuye, de la siguiente manera:

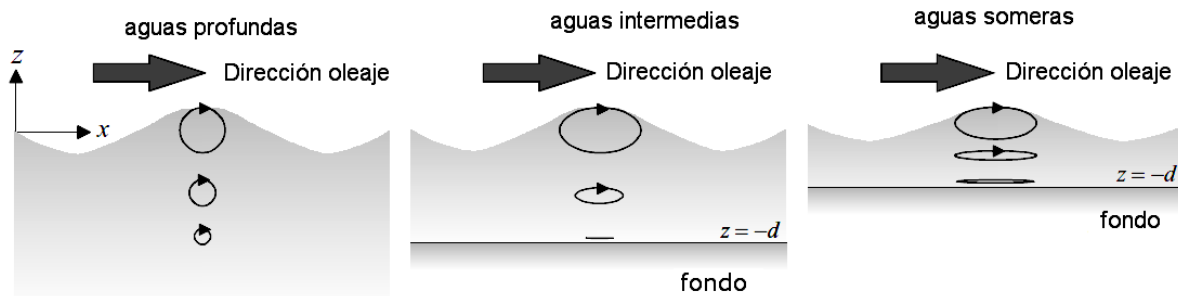


FIGURA 3.7: TRAYECTORIAS ORBITALES SEGÚN PROFUNDIDADES. FUENTE: (HOLTHUIJSEN, 2007).

Se define como aguas intermedias todo sector con profundidad mayor a 0.5 y menor a 0.05 veces la longitud de onda, desarrollando órbitas elípticas. El proceso, inversamente proporcional, se intensifica a medida que disminuye la profundidad. Cabe destacar que la clasificación anterior depende de cada ola, por lo que olas con mayores periodos, con velocidades mayores sienten antes los efectos del fondo marino y su propagación costera comienza a mayores profundidades que las olas con periodos menores (Holthuijsen, 2007).

La propagación costera se aplica solo antes de la rompiente, se compone de cuatro procesos importantes: asomeramiento, refracción, difracción y reflexión. A continuación, se describe con detalle cada uno de ellos.

3.2.3.1 ASOMERAMIENTO

El asomeramiento es un proceso presente en la naturaleza, a causa de la disminución de profundidad del fondo marino desde mar adentro hasta la costa. El oleaje comienza a deformarse debido a la interacción con el talud, resultando en un aumento de la altura y una disminución de su longitud de onda y celeridad (GIOC, 2000). Lo anterior solo ocurre cuando la dirección principal de incidencia del oleaje es ortogonal a los veriles del terreno y línea de costa.

Según los documentos de referencia Volumen I Dinámicas de Grupo de Ingeniería Oceanográfica y de Costas (GIOC) (2000), independiente del método de estimación, el problema de asomeramiento se plantea asumiendo que el proceso es bidimensional. Además, se asume que la frecuencia de la onda y de flujo de energía son constantes. Esta teoría requiere un supuesto de fondo plano con variaciones suaves, con lo cual se descarta la reflexión, la disipación o el aporte de energía en el fondo antes de la rompiente.

A continuación, se presenta una imagen del proceso descrito, donde en el punto “a” la onda proveniente de aguas profundas comienza a sufrir los efectos del asomeramiento, para cuando llega al punto “b” la onda ya está demorada y próxima a romper.

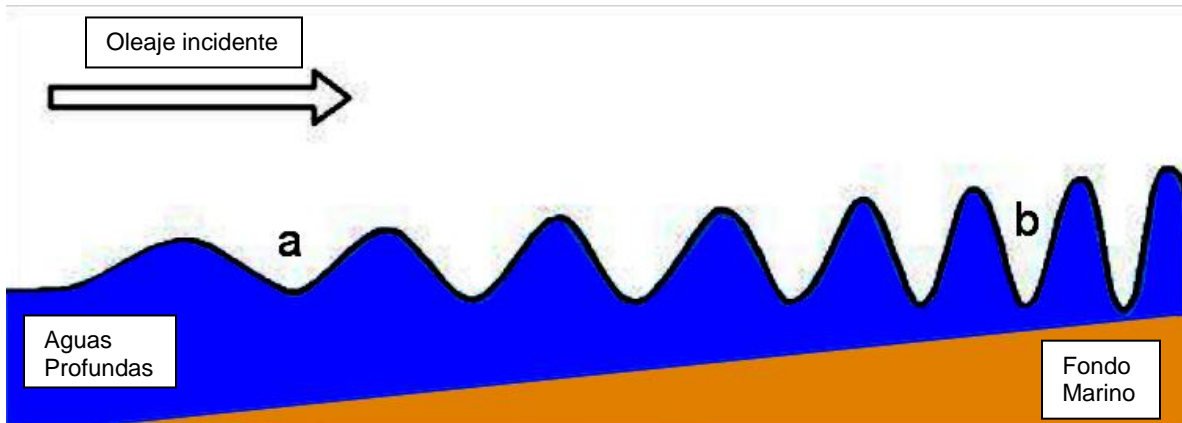


FIGURA 3.8: PROCESO DE ASOMERAMIENTO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Este proceso se acentúa cada vez más hasta llegar a un punto que la ola no puede sostener una altura tan grande y rompe.

3.2.3.2 REFRACCIÓN

La refracción es una variante espacial del asomeramiento, al igual que el último ocurre antes de la rotura. Ocurre cuando el oleaje propagado que arriba oblicuamente a la costa observa un cambio de profundidad. A medida que se aproxima a la costa, solo parte del frente de onda de la ola viaja en aguas someras, por tanto, incrementa su celeridad respecto al resto del frente de oleaje, logrando un cambio de dirección. De igual modo este fenómeno puede producirse si una corriente externa realiza un retraso de una porción del frente de oleaje, consiguiendo un cambio de dirección (GIOC, 2000). Se muestra un esquema simplificado del proceso de refracción producido por el fondo marino (figura 3.9).

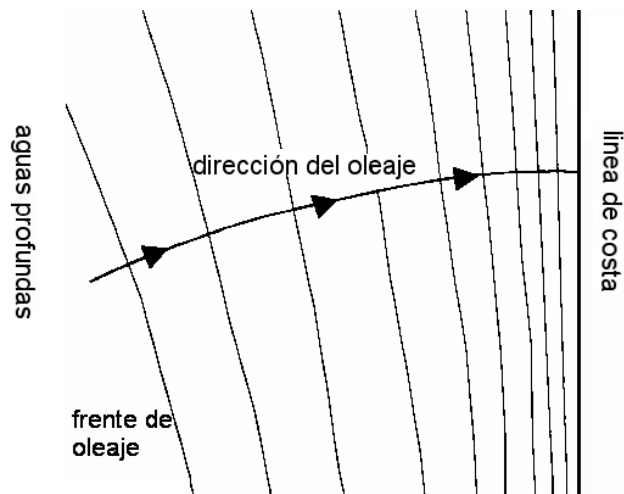


FIGURA 3.9: PROCESO SIMPLIFICADO DE REFRACCIÓN. FUENTE: (HOLTHJUITSEN, 2007).

Es por esta razón que en la naturaleza el oleaje llega siempre ortogonalmente a la línea de costa, aunque la dirección de incidencia en aguas profundas o intermedias no sea perpendicular a ésta.

3.2.3.3 DIFRACCIÓN

La difracción es un fenómeno que ocurre antes de la rotura, cuando una onda se encuentra con una protuberancia o cuando por efectos de refracción las olas se conducen a singularidades geográficas se produce una cesión lateral de energía y la amplitud se discontinúa. (GIOC, 2000).

La forma más sencilla de entender este proceso es asumir en un tren de ondas que incide normalmente sobre un dique (natural o antropogénico) impermeable y semi-infinito. Lejos del morro del dique la onda se propaga sin modificación, en cambio a sotavento del dique gracias a la cesión lateral de energía, el oleaje disminuye considerablemente sus parámetros generando zonas de sombra o abrigo (Silva, 2005).



FIGURA 3.10: PROCESO SIMPLIFICADO DE DIFRACCIÓN. FUENTE (HOLTHJUITSEN, 2007):.

3.2.3.4 REFLEXIÓN

Cuando la onda de oleaje se encuentra con la línea de costa propiamente tal, dependiendo de la pendiente y material del talud puede reflejarse la energía contenida en él. Una playa de pendiente suave y arenas finas apenas reflejará la energía del oleaje, sin embargo, un acantilado impermeable vertical puede reflejar el 100% de la energía contenida en el oleaje incidente (Holthjuitsen, 2007).

En ingeniería costera a menudo la reflexión es ignorada en playas de arena y costas de gravas, donde se considera la reflexión como despreciable, no obstante, es estimada con gran exactitud para proyecciones de posas de operación de puertos o muros costeros, donde por efectos de la reflexión puede ocurrir resonancia de oleaje.

Este fenómeno genera una onda reflejada, de carácter armónico y con magnitud igual o menor a la onda incidente.

3.2.4 ROTURA

Cuando el tren de ondas se propaga a profundidades decrecientes, se produce un aumento de la amplitud y una disminución de la celeridad, hasta llegar al punto que la onda se hace inestable y deja de mantener la forma. La velocidad de la parte superior de la cresta de la ola se aproxima a la celeridad de la onda. Una vez las velocidades de las partículas de la parte superior de la cresta superan la celeridad de onda, las partículas escapan de la cresta, lanzándose hacia delante, produciendo la rotura de la onda, provocando una gran disipación turbulenta de energía (GIOC, 2000). Al cabo de una determinada distancia, denominada zona de rotura, el proceso de rotura se normaliza y la onda toma forma de resalto hidráulico con un frente turbulento, llamado ampliamente "wave setup" o peralte por oleaje.

No hay que olvidar que el oleaje real está compuesto por ondas sucesivas de diferentes alturas y periodos. El punto de rotura para cada ola oscilará transversalmente a la línea de costa, dependiendo de las características de las diferentes olas individuales (GIOC, 2000).

Para identificar los tipos de roturas se utiliza una ratio llamado parámetro de similitud de rotura o simplemente parámetro de rompiente (Kamphuis, 2000), está universalmente aceptado como controlador del tipo de rotura (GIOC, 2000). A continuación, se presenta dicho parámetro:

$$\xi_b = \frac{m}{\sqrt{H_b/L_b}} \quad \text{Ec. 3.2}$$

donde:

ξ_b : Es el parámetro de rompiente.

m : Pendiente de fondo.

H_b : Altura de ola en el instante antes de romper.

L_b : Longitud de onda en el instante antes de romper.

La figura 3.11 muestra los tipos de rotura que dependen del valor del parámetro de similitud de rotura.

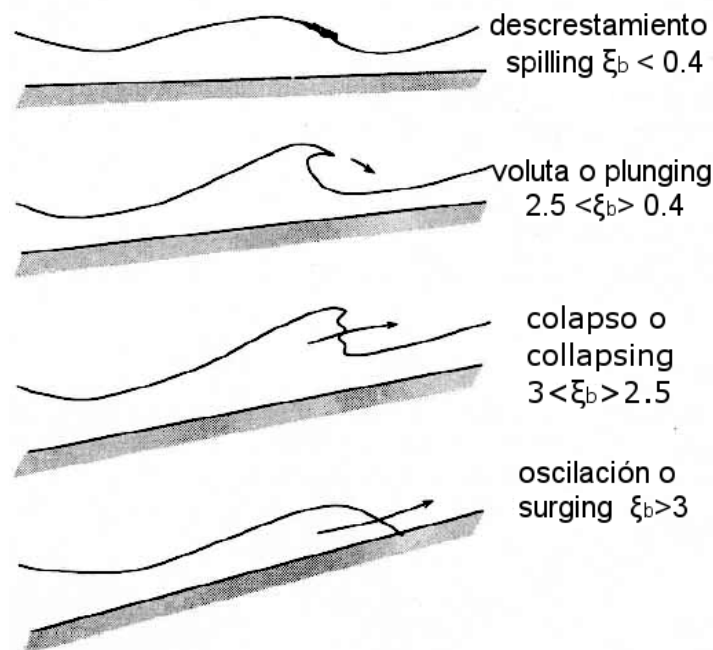


FIGURA 3.11: TIPOS DE ROTURA. FUENTE: (KAMPHUIS, 2000).

3.2.5 MODELOS DE PROPAGACIÓN DE ONDAS

Un modelo es una representación simplificada de un fenómeno físico a estudiar. Existen 2 tipos de modelos: los físicos que representan un problema real a escala y bajo circunstancias controladas en un laboratorio y los numéricos que representan los fenómenos de conservación de la masa, momentum y energía utilizando ecuaciones diferenciales parciales, permitiendo estimar las propiedades del flujo en el tiempo y en el espacio (Winckler, 2016).

Dentro de los modelos numéricos existen los determinísticos, donde los datos y las ecuaciones se consideran exactos, y estocásticos o probabilístico, los cuales incorporan una incertidumbre asociada. Se clasifican según las dimensiones espaciales que pueden abarcar. Los más sencillos, unidimensionales, tienen consigo muchas suposiciones y se denominan 1D, los que representan el fenómeno bidimensionalmente 2D y los más adecuados para representar fenómenos ocurridos en la interfaz océano-atmósfera denominados 3D. Los modelos 2D y 3D requieren de condiciones de borde e iniciales complejas, para los cuales existen soluciones analíticas sólo en casos muy simples (Winckler, 2016).

Dentro de los modelos numéricos de propagación existen los que promedian la fase, los cuales pueden ser 1D o 2D, utilizados en la generación y propagación de oleaje en aguas intermedias, donde dominan los fenómenos de refracción y difracción. Suponen que la desnivelación se puede caracterizar por una superposición de armónicos. No permiten calcular el perfil de las ondas pues no resuelven su fase y por ende requieren de una evolución temporal y espacial amplia (Winckler, 2016). Además, existen los que resuelven la fase (2D y 3D), se basan en ecuaciones de conservación de la masa y momentum, que

permite caracterizar la evolución temporal y espacial de cada onda individual. Resuelven fenómenos de propagación costera y rotura, pueden dar cuenta de los fenómenos de asomeramiento, refracción, difracción, reflexión, y disipación. Pueden propagar ondas largas como tsunamis y ondas de marea, mediante ecuaciones que resuelven la desnivelación instantánea y dos velocidades mutuamente ortogonales. Debido a su alta resolución espacial y temporal, todavía están limitados a áreas relativamente pequeñas (Winckler, 2016).

Los más complejos, tridimensionales, denominados CFD por su sigla en inglés (Computational Fluid Dynamics), permiten calcular la velocidad y la presión en todas las dimensiones. Son aplicables fenómenos de rotura, interacción fluido estructura y fluido sedimento (Winckler, 2016). A continuación, se presenta una tabla que compara dichos modelos numéricos.

TABLA 3.1: COMPARACIÓN ENTRE MODELOS NUMÉRICOS QUE PROPAGAN ONDAS.

Características	Modelos que promedian la fase	Modelos que resuelven la fase	Dinámica de fluidos computacional (CFD)
Dimensiones	2D	2D	3D
Incógnitas	Energía de oleaje en el tiempo	Desnivelación y velocidad media en la profundidad	Presión y velocidad puntual
Δt (s)	$O(10^3 - 10^2)$	$O(10^1 - 10^{-1})$	$O(10^{-1} - 10^{-3})$
Δl (m)	$O(10^2 - 10^0)$	$O(10^0 - 10^{-1})$	$O(10^{-1} - 10^{-3})$
Tamaño	$O(10^5 - 10^3)$	$O(10^3 - 10^2)$	$O(10^3 - 10^0)$
Aplicaciones en el oleaje e ingeniería	Generación y propagación en aguas profundas e intermedias	Propagación en aguas profundas, intermedias y someras	Propagación en zona de rompiente e interacción con estructuras y sedimentos

Fuente: (Winckler, 2016)

Donde Δt es el intervalo de tiempo típico de modelo, Δl es el tamaño típico de la grilla batimétrica con que se resuelven las ecuaciones de evolución. El tamaño corresponde a una dimensión típica de los dominios donde se integran las ecuaciones de gobierno.

3.2.5.1 SOFTWARE SWAN (SIMULATING WAVES NEARSHORE)

SWAN es un simulador de oleaje de aguas someras, modelo de computadora de código libremente abierto, puesto a disposición por la Universidad Tecnológica de Delft, utiliza ecuaciones diferenciales parciales para determinar principios de conservación de la masa y el momentum, las cuales son sus ecuaciones de gobierno (SWAN, 2017). El modelo supone un flujo incompresible e irrotacional. A continuación, se presentan las ecuaciones de gobierno.

En primer lugar, se presenta la ecuación de la conservación de la masa en términos generales.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho V) = 0 \quad \text{Ec. 3.3}$$

donde:

t	: Tiempo
$\rho(x, t)$: Densidad, tal que, $x(x, y, z)$ es el vector posición
$V(x, t)$: Vector velocidad. Conocido con la notación $V(u, v, w)$
u	: Velocidad del flujo en sentido del eje x
v	: Velocidad del flujo en sentido del eje y
w	: Velocidad del flujo en sentido del eje z
∇	: Gradiente en coordenadas cartesianas dado

En ingeniería costera usualmente se considera un flujo incompresible dentro de un dominio de integración, esto quiere decir que la densidad del material es constante en una parcela de fluidos. Matemáticamente, se expresa como la derivada total nula de la densidad (Winckler, 2016), utilizando las mismas variables descritas en la ecuación 3.3 se presenta la siguiente ecuación de incompresibilidad.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = 0 \quad \text{Ec. 3.4}$$

Gracias estas simplificaciones se concibe la primera ecuación de gobierno del simulador SWAN, la cual expresa que la divergencia de la velocidad es cero, tal como se expresa en la siguiente ecuación.

$$\nabla * V = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad \text{Ec. 3.5}$$

donde:

$V(u, v, w)$: Vector velocidad.
u	: Velocidad del flujo en sentido del eje x
v	: Velocidad del flujo en sentido del eje y
w	: Velocidad del flujo en sentido del eje z

Análogamente el software realiza el supuesto de que el flujo es irrotacional. Físicamente se define como un volumen de control en el cual la suma de todos los esfuerzos tangenciales es igual a cero. Matemáticamente se expresa como el proceso cruz entre el gradiente y vector velocidad d la siguiente manera:

$$\nabla \otimes V(u, v, w) = \begin{pmatrix} \frac{\partial}{\partial x} \\ \frac{\partial}{\partial y} \\ \frac{\partial}{\partial z} \end{pmatrix} * [u \ v \ w] = 0 \quad \text{Ec. 3.6}$$

Para este caso existe una función auxiliar denominada potencial de velocidades $\phi(u, v, w)$, cuya velocidad en cada eje dimensional es igual a la derivada de una función en cada sentido, de la siguiente manera:

$$\nabla \phi(x, y, z) = V \left(u = \frac{\partial \phi}{\partial x}, \ v = \frac{\partial \phi}{\partial y}, \ w = \frac{\partial \phi}{\partial z} \right) \quad \text{Ec. 3.7}$$

La ley de la conservación de la masa dice que la masa no se crea ni se destruye, solo se transforma. Se presenta la ecuación denominada ecuación de Laplace en honor a su descubridor, es una ecuación doblemente diferenciada donde existe una ecuación

potencial de velocidades ϕ (x, y, z). Es la ecuación fundamental de la Teoría Lineal de Oleaje (Holthjuitsen, 2007) y se presenta a continuación.

$$\nabla^2 \phi = \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} = 0 \quad \text{Ec. 3.8}$$

La segunda ecuación de gobierno del software tiene relación con la simplificación de la ecuación de conservación del momentum, esta ecuación lleva consigo tres ecuaciones de gobierno más. Las simplificaciones son de las de un flujo incompresible e irrotacional, dando como resultado la siguiente ecuación:

$$\frac{\partial V}{\partial t} + \nabla(V \otimes V) = -\frac{1}{\rho} \nabla p(x, y, z) + g(z) \quad \text{Ec. 3.9)$$

Siendo:

$V(u, v, w)$: Vector velocidad
t	: Tiempo
∇	: Gradiente en coordenadas cartesianas
ρ	: Densidad del medio
p	: Presión
g	: Aceleración de gravedad

Esta última ecuación muestra que aceleración en el tiempo, más el gradiente del producto cruz de la velocidad del flujo son igual a la energía potencial, es nombrada como la ecuación de Euler (Holthjuitsen, 2007). Las ecuaciones de gobiernos integran un sistema de cuatro ecuaciones (tres de conservación del momentum y una de conservación de la masa) para cuatro incógnitas: Velocidad y presión (u, v, w y p).

3.3 ONDAS DE MAREA

Es el fenómeno que se describe como un ascenso y descenso rítmico y continuo de la superficie libre del océano y de los cuerpos de agua conectados con él, que ocurren dos veces al día sobre la mayor parte del planeta (SHOA, 1992).

Esta onda de marea es fundamentalmente la manifestación de las fuerzas de atracción gravitacional que ejercen los cuerpos celestes sobre la tierra en rotación, en especial la Luna y minoritariamente el Sol, lo cual es conocido como Marea Astronómica. Sin embargo, también existe una marea, en ocasiones más débil, ocasionada por variaciones periódicas de la presión atmosférica, de la incidencia vientos en dirección mar-tierra o viceversa y por efecto del oleaje. Ésta es una marea meteorológica y su importancia relativa dependerá de la época del año, latitud y de la proximidad de áreas con aguas someras (SHOA, 1999).

3.3.1 SISTEMA TIERRA-LUNA-SOL

Para describir físicamente el fenómeno relacionado con las ondas de marea se debe simplificar el problema considerando al planeta sin continentes ni corrientes oceánicas (Steward, 2008). En base a estas simplificaciones se describe la influencia de los cuerpos

celestes cercanos a la Tierra y cómo su atracción gravitacional induce movimientos de agua en el planeta.

La ley de atracción gravitacional universal descrita por Newton manifiesta que todos los objetos en el espacio se atraen unos a otros con una fuerza directamente proporcional al producto de sus masas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que separa sus centros de masa (Benguria, 2013).

En primer lugar, se analiza a la Luna, el astro más cercano e influyente, que gira alrededor del planeta y su gravedad influencia a los océanos. Este astro forma una marea de equilibrio a medida que cambia su posición respecto a la Tierra. La Figura 3.12 muestra la marea de equilibrio teórica que se forma gracias a la acción gravitacional del satélite natural (Kamphuis, 2000).

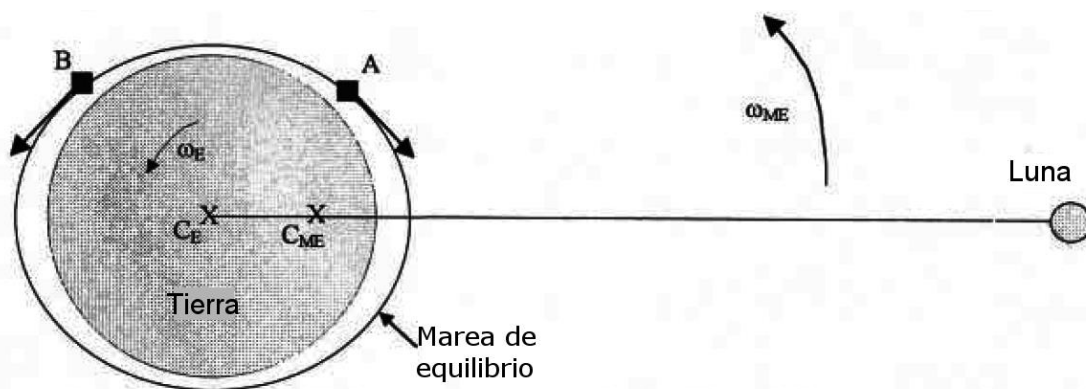


FIGURA 3.12: INFLUENCIA DE UN CUERPO CELESTE EN LAS MAREAS. FUENTE: (KAMPHUIS, 2000).

Si se ubica en un plano donde se visualiza la Tierra y ambos astros (Figura 3.12), la fuerza generadora actúa horizontalmente a su fuente, por lo que en el globo se producen diferencias simétricas del nivel del mar en zonas opuestas del planeta (Figura 3.12), se representa además, que el punto de control A tiende a moverse hasta estar horizontal a la Luna y el punto de control B se dirige al lado opuesto al planeta y horizontal a la Luna, siguiendo el estímulo de la atracción gravitacional (Kamphuis, 2000).

Ambos astros (Luna y Sol) influyen simultáneamente a los océanos terrestres (Dagá, 2008). En un plano donde se ubique la Tierra, Luna y Sol, se aprecia que las fuerzas que dominan este fenómeno son horizontales (Figura 3.13). Es importante analizar la posición relativa entre los astros con respecto al planeta, cuando ambos están alineados, entonces, la influencia de cada uno de los cuerpos se suma, provocando así mareas mayores. Sin embargo, cuando la Luna se encuentra en cuadratura (perpendicular) con el Sol, las influencias astronómicas se restan y se provocan mareas más bajas (USACE, 2006). Tal como se muestra en la figura 3.13 “Tipos de mareas astronómicas”.

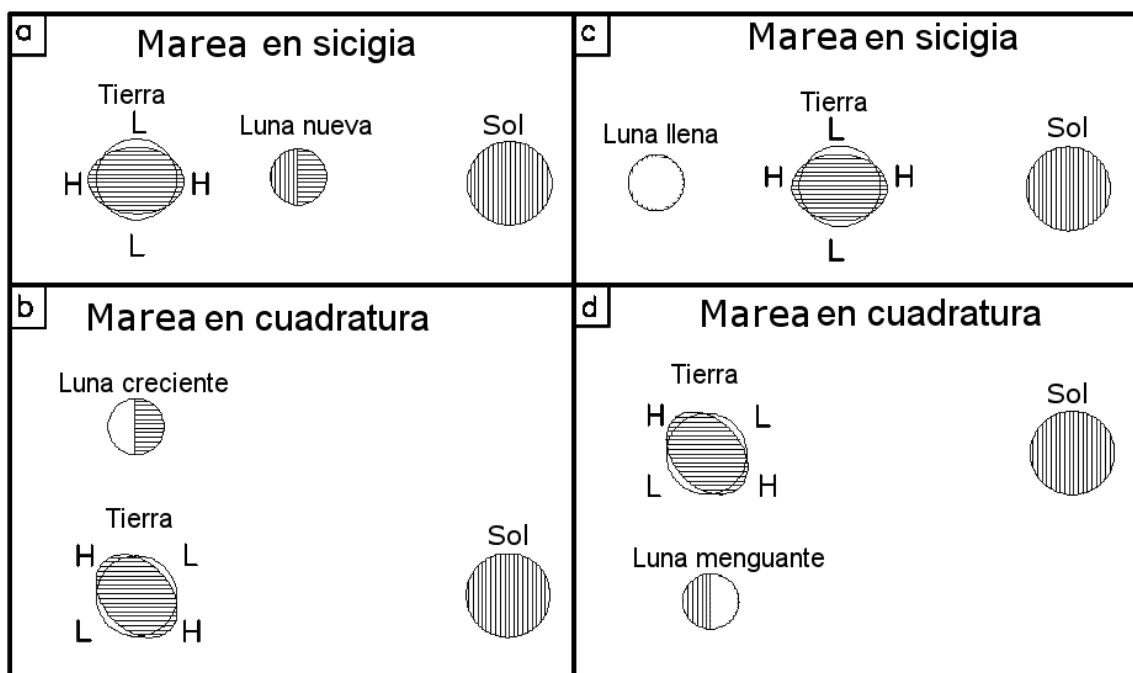


FIGURA 3.13: TIPOS DE MAREAS ASTRONÓMICAS. FUENTE: (USACE, 2006).

La Figura 3.13 muestra como las mareas que se producen durante la luna llena o nueva, denominadas pleamar o bajamar en sicigias, tienen una amplitud, por lo general, de un 10 a un 30% más que la amplitud media del lugar (SHOA, 1992). Por otro lado, cuando la Luna está en cuarto menguante o creciente, la amplitud de la marea disminuye en estas épocas. La altura media de las bajamares y pleamares, se llaman bajamar y pleamar de cuadraturas respectivamente. La diferencia de alturas entre ellas se llama amplitud de cuadratura, que es por lo general de 10 a 30% menor que la amplitud media, con algunas variaciones para las distintas partes del mundo (SHOA, 1992).

En Valparaíso la onda de marea astronómica obedece al régimen mixto semidiurno, es decir, se presentan dos bajamares y dos pleamares diarias, en lapsos de cada 6 horas 12 minutos (EPV, 2015).

A continuación, se presenta una señal de marea medida por un mareógrafo instalado en el molo de abrigo del puerto de Valparaíso (próximo al sitio de interés), propiedad del SHOA y conectado a una red global administrada por la Intergovernmental Oceanographic Commission (IOC), perteneciente a la UNESCO. La señal corresponde a 30 días de medición continua desde el 07 de febrero hasta el 09 de marzo del 2017.

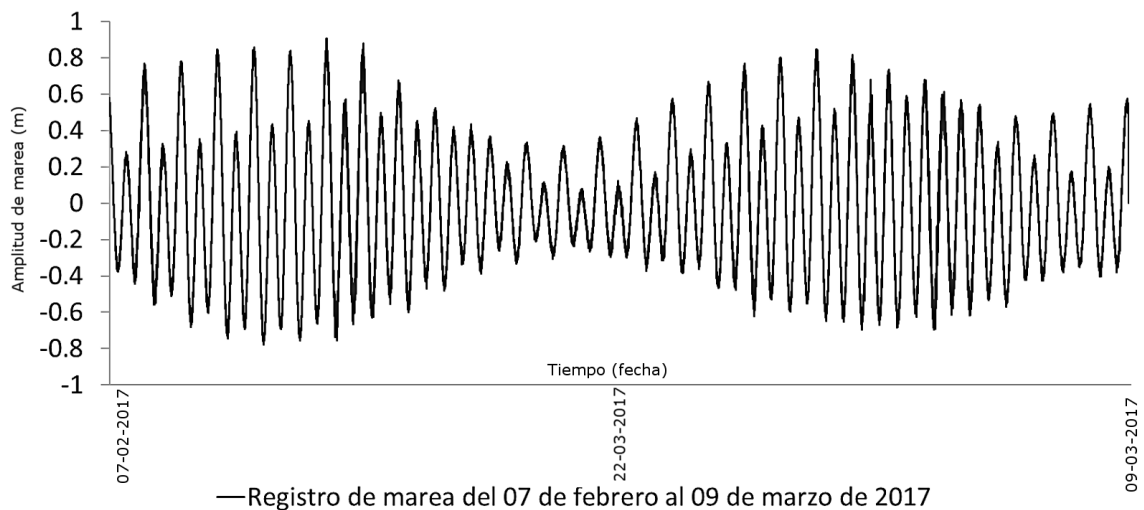


FIGURA 3.14: SEÑAL DE MAREA EN VALPARAÍSO. FUENTE: (IOC, 2017)

Gracias al calendario lunar dispuesto públicamente por (SHOA, 2017), es sabido que el 10 de febrero ocurrió una Luna llena (marea en sicigia), el 18 de febrero ocurrió una Luna cuarto menguante provocando una marea en cuadratura, luego el 26 de febrero tuvo ocasión una Luna llena, provocando así una marea en sicigia y por último el 5 de marzo tuvo lugar una luna cuarto creciente (marea en cuadratura). Es por lo que se observa amplitudes mayores y menores a lo largo de los 30 días de observación.

3.3.2 INFLUENCIA METEOROLÓGICA

No tan solo los grandes océanos se comportan según las fuerzas gravitacionales descritas anteriormente. En aguas someras si bien está presente la componente astronómica, el comportamiento es distinto de lo ocurrido en aguas profundas, lugares cerrados como estuarios, fiordos y canales pueden producir respuestas a la manifestación de la influencia meteorológica (Dagá, 2008).

Marea Meteorológica es un concepto que se define como: componente de la marea con origen meteorológico, llámese este, variaciones de presión atmosférica, variación en tensiones tangenciales inducidas por el viento, y efecto del oleaje sobre el nivel medio del mar (Ortega, 2015).

A continuación, se describe físicamente la influencia de cada forzante de la marea meteorológica.

3.3.2.1 FORZANTE BAROMÉTRICA

Una componente importante en la meteorología es la presión atmosférica local (P_a en Figura 3.15). Es forzante de vientos y climas, en las mareas la importancia de ésta radica en que el océano reacciona y expresa aumentos o descenso de su nivel (η_B en Figura 3.15) como respuesta a cambios relativos en la presión atmosférica (ΔP en Figura 3.15) (Dean & Dalrymple, 2004).

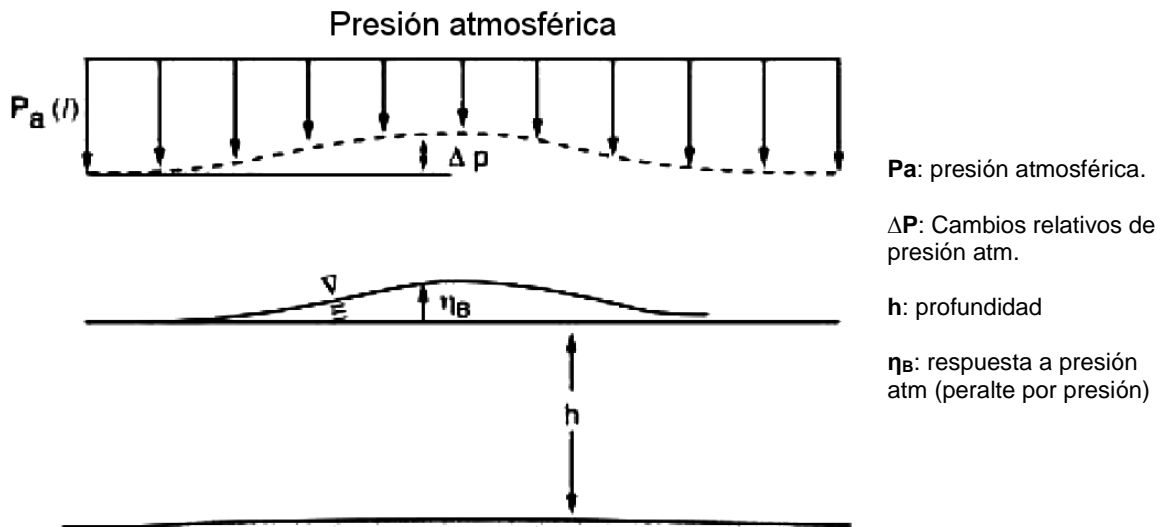


FIGURA 3.15: EFECTO DE LA PRESIÓN ATMOSFÉRICA SOBRE COLUMNA DE AGUA. FUENTE: (DEAN & DALRYMPLE, 2004).

La respuesta de la forzante barométrica fue descrita por Kamphuis (2000) de la siguiente manera: a medida que la presión relativa aumenta, el agua se comprime y experimenta un nivel menor, en cambio si la presión atmosférica disminuye, se produce el efecto contrario en la superficie del océano y este se peralta. esta relación de presión vs. nivel se conoce ampliamente como barómetro invertido.

3.3.2.2 FORZANTE DE VIENTO

El esfuerzo cortante de un flujo de viento sobre la superficie del agua produce una variación de nivel y cantidad de movimiento. Aunque el esfuerzo tangencial asociado al viento sobre la superficie es pequeño, integrado sobre una gran masa de agua puede llegar a ser importante (Ortega, 2015).

Durante una tormenta, el nivel del agua (d en Figura 3.16) se eleva hasta que la gravedad contrarresta los efectos cortantes del viento (Kamphuis, 2000).

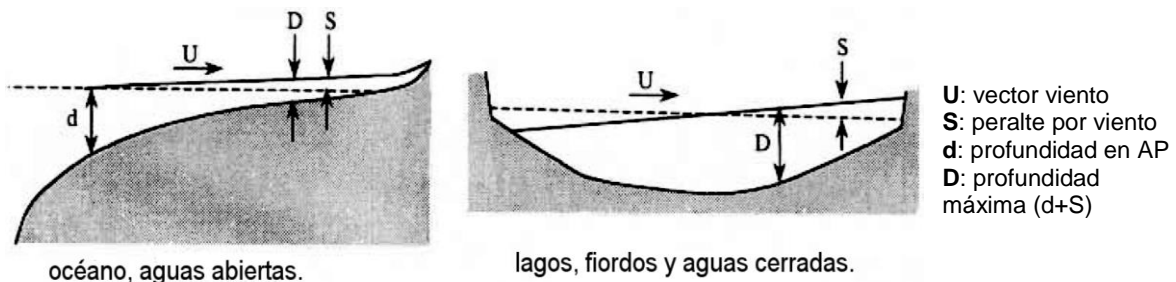


FIGURA 3.16: EFECTO DEL VIENTO SOBRE EL NIVEL DE LA COLUMNA DE AGUA. FUENTE: (KAMPHUIS, 2000).

3.3.2.3 FORZANTE DE OLEAJE

Además de la presión atmosférica y el viento, el nivel de agua se ve afectado por el oleaje en rompiente. Al ocurrir la rotura (proceso disipativo de energía) se produce un desequilibrio de momentum produciendo una desnivelación negativa y luego una positiva, tal como se muestra en la Figura 3.17:

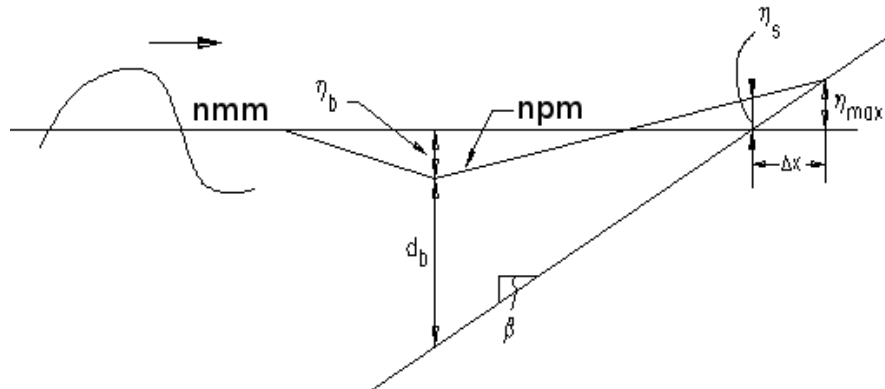


FIGURA 3.17: EFECTOS DEL OLEAJE EN EL NIVEL MEDIO DEL MAR. FUENTE: (USACE, 2003).

Se observa en la Figura 3.17 el nivel medio del mar con la sigla nmm y el nivel promedio instantáneo del mar con la sigla npm. Pevio a la rotura, el nivel sufre una disminución llamada setdown (η_b), luego se lleva a cabo el proceso de rotura (d_b es profundidad de rotura) y posteriormente en la zona de surf ocurre un aumento de nivel conocido como setup (η_s) (USACE, 2003).

3.4 CORRIENTES

En este capítulo se explican las corrientes de agua que existen en el océano y las costas.

Corriente es una magnitud física que refleja una cantidad de volumen agua por unidad de tiempo que atraviesa sobre un área de control. Existen dos tipos de corrientes, las oceánicas que pueden ser superficiales y profundas producidas por gradientes de presión marina; y las costeras, producida generalmente por las ondas de marea y el oleaje incidente a la costa (SHOA, 1992). Estas últimas se subdividen corrientes normales y paralelas a la costa, las cuales son las responsables de transportar material sedimentario.

3.4.1 CORRIENTES OCEÁNICAS

Son movimientos relativos de agua, se caracterizan por ser cíclicos y regulares. Procedentes de la circulación atmosférica global (a su vez producida por el estímulo energético solar), debido a la existencia de gradientes de densidad en el océano (gracias a la composición y estratificación del medio marino) y por la rotación terrestre, generando grandes giros oceánicos y sistemas de corrientes complejos, tales como la corriente de Humboldt, corrientes Ecuatoriales para el pacífico sur (SHOA, 1992).

La corriente de Humboldt es un flujo másico que se caracteriza por la presencia de valores bajos de oxígeno disuelto, de tan solo 0.5 [ml/L]. Esto es debido a que las aguas que circulan en ella provienen de la corriente Circumpolar Antártica (corriente fría y profunda). Además, es una corriente ascendente, donde en su extremo sur (40° S) presenta sus menores temperaturas, mientras que en su extremo norte (5° S) presenta su mayor temperatura y menor profundidad, encontrándose con la corriente ecuatorial (Yañez, Hidalgo, & Escribano, 2012), al ser ascendente genera procesos de surgencia.

La corriente Termohalina, también llamada “Cinta transportadora de energía” es una corriente global compuesta por corrientes superficiales, profundas, cálidas y frías. Es la encargada de mantener el equilibrio termodinámico en el planeta (Steward, 2008). A continuación, se presenta un esquema del comportamiento de los flujos de agua en el planeta (Figura 3.18). Donde de color azul se muestran las corrientes profundas, de aguas frías y mayormente salinas. De color rojo se muestran las corrientes superficiales, cálidas y con menor salinidad. Cada corriente está acompañada de un número el cual indica el nombre de cada una de las corrientes oceánicas termohalinas.

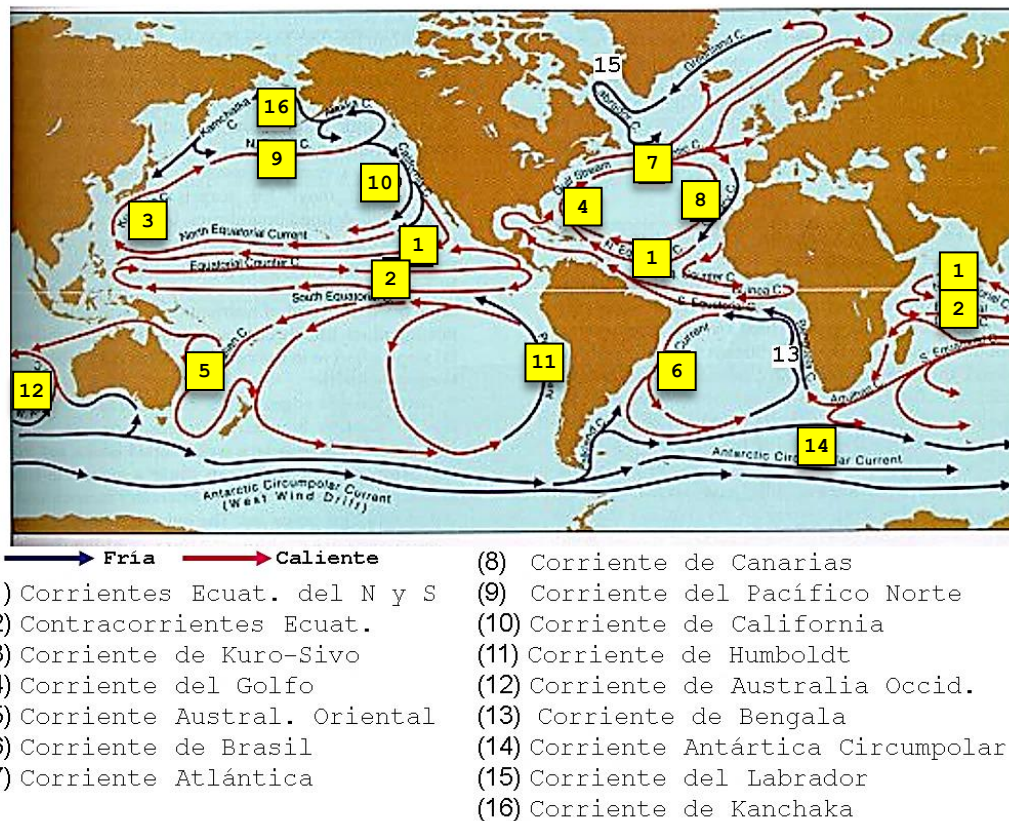


FIGURA 3.18: CIRCULACIÓN TERMOHALINA. FUENTE: (UNAM, 2000).

3.4.2 CORRIENTES COSTERAS

Las corrientes litorales son producidas principalmente por las ondas de oleaje y marea, pueden lograr, en zonas cercanas a la costa (dependiendo de la configuración costera), velocidades suficientes para arrastrar material sedimentario del fondo o que pudo ser puesto en suspensión por la acción del oleaje (Neshyba & Fonseca, 1981).

La onda de marea produce una corriente perpendicular a la costa. Cuando arriba al litoral, llenando la bahía produce una corriente de flujo. Análogamente, en el caso de una marea vaciante, el agua se dirige hacia afuera de la bahía y produce una corriente de refluo (SHOA, 1992).

El oleaje por su parte genera una corriente paralela a la costa, que mueve el sedimento de un lado a otro del litoral cuyas variables son: el ángulo de incidencia del oleaje, la energía de este y las características del material sedimentario. Dicha corriente produce el transporte sedimentario longitudinal responsable de los procesos de formación de playas, ampliamente llamado deriva litoral (Neshyba & Fonseca, 1981).

Como el fenómeno de oleaje es de carácter aleatorio, puede ocurrir que en una parte de la playa la dirección del transporte sea una y en otra parte de la playa, la corriente tenga distinta dirección.

3.5 ASPECTOS TEÓRICOS DEL DISEÑO

Para describir los aspectos teóricos del diseño se presentará una definición conceptual de las bases de diseño, los tipos de cargas y las tipologías estructurales a utilizar en las propuestas de diseño en cada uno de los escenarios.

3.5.1 ESTADOS LÍMITES

Estado límite es una condición la donde una estructura (o alguna parte de ella) no cumple la función para la cual fue creada. Existen dos tipos de estados límites, los relacionados a la operación y los relacionados a la resistencia de la obra (DOP, 2013).

3.5.1.1 ESTADO LIMITE DE SERVICIO

El estado límite de servicio es una condición donde una obra deja de realizar su normal explotación parcial o totalmente. Relacionado con satisfacer los requerimientos para los cuales fue construida (DOP, 2013).

3.5.1.2 ESTADO LIMITE DE RESISTENCIA

Está relacionado con la capacidad de una obra de resistir las solicitaciones (generalmente hidrodinámicas). Condición cuando la obra se daña o colapsa, parcial o totalmente (DOP, 2013).

3.5.2 BASES DE DISEÑO

Las bases de diseño son la vida útil, el riesgo admisible y el periodo de retorno para los estudios estadísticos de largo plazo (DOP, 2013).

3.5.2.1 VIDA ÚTIL

La vida útil de un proyecto es la duración prevista del servicio de la obra costera (ROM, 2005), y se define a partir de la siguiente tabla:

TABLA 3.2: VIDA ÚTIL MÍNIMAS PARA OBRAS O INSTALACIONES DE CARÁCTER DEFINITIVO.

Tipo de obra o instalación	Nivel de seguridad requerido		
	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3
Infraestructura de carácter general (Ligado a un carácter integral)	25 años	50 años	100 años
Infraestructura de carácter industrial específico	15 años	25 años	50 años

LEYENDA:

Nivel 1: Obras e instalaciones de interés local o auxiliar (pequeño riesgo de pérdida de vidas humanas o daños medioambientales en caso de falla). Ejemplo: Obras de defensa, generación de costa, obras en puestos deportivos, emisarios locales, pavimentos portuarios.

Nivel 2: Obras e instalaciones de interés general (riesgo moderado de pérdidas de vidas humanas o daños medioambientales en caso de falla). Ejemplos: Obras de grandes puertos o emisarios de grandes ciudades.

Nivel 3: Obras e instalaciones de protección contra inundaciones o de carácter supranacional (riesgo elevado de pérdidas humanas o daños medioambientales en caso de falla). Ejemplo: defensa costera de núcleos urbanos o bienes industriales de carácter nacional.

Fuente: (ROM, 2005)

3.5.2.2 RIESGO

El riesgo admisible se estima para el conjunto estructural de la obra, en torno a sus características estructurales y operacionales. La evaluación de pérdidas humanas en caso de falla estructural es fundamental para estimarlo mediante la siguiente tabla: (ROM, 2005).

TABLA 3.3: RIESGOS MÁXIMOS ADMISIBLES.

A) Riesgo de iniciación de averías		Posibilidades de pérdidas humanas	
		reducidas	altas
$Indice A : \frac{\text{coste de reparación}}{\text{inversión}}$	Baja	0.50	0.30
	Media	0.30	0.20
	alta	0.25	0.15
B) Riesgo de pérdida total		Posibilidades de pérdidas humanas	
		reducidas	altas
$Indice B : \frac{\text{coste de pérdidas}}{\text{inversión}}$	Baja	0.20	0.15
	Media	0.15	0.10
	alta	0.10	0.005

LEYENDA:

- I. Para obras rígidas o de rotura frágil sin posibilidad de reparación se adopta el riesgo de destrucción total.
- II. Para obras flexibles, semirrígidas o de rotura en general reparable se adopta un riesgo de iniciación de averías.
- III. Posibilidad de pérdida humanas
Reducidas: cuando no es esperable que se produzcan pérdidas humanas en caso de falla o daño estructural.
altas: Cuando se estima que se produzcan pérdidas humanas en caso de falla o daño estructural.
- IV. Repercusión económica para pérdida total
Si $B < 5$ → Riesgo bajo.
Si $5 < B < 20$ → Riesgo medio.
Si $B > 20$ → Riesgo alto.

Fuente: (ROM, 2005)

3.5.2.3 PERIODO DE RETORNO

Periodo de retorno es una ecuación que involucra la vida útil y el riesgo admisible, se utiliza en el análisis estadístico de no excedencia para estimar las condiciones naturales (ROM, 2005). se calcula con la siguiente ecuación:

$$T_r = \frac{-L}{\ln(1-R)} \quad \text{Ec. 3.10}$$

donde:

- T_r : Periodo de retorno [años].
- L : Vida útil proyectada [años].
- R : Riesgo admisible.

3.5.3 TIPOS DE CARGAS

Las cargas son fuerzas y otros fenómenos físicos producto del peso de todos los elementos de construcción, sus ocupantes, su indumentaria de explotación y los efectos medioambientales, entre otros.

Las cargas o sollicitaciones que se consideran en el diseño estructural y operacional pueden tener variación en el tiempo, siendo permanentes, variables o eventuales; pueden también variar en el espacio, siendo fijas o móviles y además pueden variar en su estado inercial, siendo estáticas o dinámicas (DOP, 2013). A continuación, se presenta una descripción teórica de cada una de ellas.

3.5.3.1 PERMANENTES

Las cargas permanentes corresponden a las solicitaciones gravitacionales, que actúan durante cada momento de la vida útil de un proyecto, teniendo una posición y magnitud constante o de variaciones despreciable. Tienen lugar solo en un sentido. (DOP, 2013). Dentro de las destacadas se encuentra el peso propio y el peso de equipos esenciales para la explotación.

3.5.3.2 SOLICITACIONES DE USO

Son cargas relacionadas a la explotación y uso de la estructura, pueden verse modificadas en posición y magnitud durante la vida útil (DOP, 2013).

3.5.3.3 SOLICITACIONES MEDIOAMBIENTALES

Asociadas a la acción de eventos medioambientales de orden oceanográficos, climáticos y sísmicos sobre un conjunto estructural (DOP, 2013). Dentro de las que se destacan se encuentran: las cargas sísmicas, la carga de oleaje, y otras provocada por la interfaz océano-atmósfera.

3.5.3.4 COMBINACIÓN DE CARGAS.

En Chile existe una norma dictada por el Instituto Nacional de Normalización (INN) dedicada específicamente a las combinaciones de cargas en los diseños estructurales de edificios u otro tipo de obras ingenieriles, su sigla es NCh 3171 Of. 2010. (NCh3171, 2010) Sin embargo, no hace referencia a las combinaciones de cargas necesarias para las obras de ingeniería marítima, por lo que la Dirección de Obras Portuarias del Ministerio de Obras Públicas, creó una guía para el diseño, construcción, operación y conservación de obras marítimas, donde expone las combinaciones más destacadas.

4 METODOLOGÍA

Este capítulo describe la metodología asociada a cada variable mencionada en el marco teórico.

4.1 METODOLOGÍA DE VALORIZACIÓN COSTERA

Este método es ampliamente amoldable a cada ejercicio, por lo que se recomienda ajustarlo a cada problema.

Por medio de la observación cualitativa del territorio (ver capítulo 3.1) se define un valor a cada componente. Para estimar el valor de la componente ambiental se utiliza la tabla de jerarquización para la componente ambiental del valor en el Anexo B 1. Para jerarquizar el valor económico se utiliza la tabla para la jerarquización de la componente económica del valor en el Anexo B 2 y finalmente para jerarquizar la componente urbano-sociocultural del valor, se utiliza la tabla presente en el Anexo B 3. Donde para todas las tablas de jerarquización el número 5 es un valor cualitativo alto y el 1 es valor cualitativo muy bajo.

Luego de definir cada componente del vector valor, se calcula su magnitud, la cual indica el valor de la zona utilizando la formulación (EC. 3.1) propuesta por Viveros (2016).

4.2 METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE OLAJE

Este análisis tiene como objetivo determinar: el clima de oleaje operacional y el oleaje de diseño en el sitio de interés de un proyecto de ingeniería costera (SHOA, 2005).

4.2.1 ANÁLISIS DE MEDIANO PLAZO

Este tipo de análisis establece el clima operacional en el sitio de interés del proyecto. Consiste en estimar el comportamiento reinante del oleaje. Con el fin de establecer las variaciones diarias, mensuales, anuales e interanuales. Para estimarlo, es necesario contar con una estadística de parámetros de resumen de al menos 20 años continuos.

En primer lugar, se debe construir las siguientes tablas de incidencias: altura vs. dirección, periodo vs. dirección y altura vs. periodo, con sus respectivas rosas de oleaje (SHOA, 2005), donde cada tabla de incidencia debe constar al menos con 8 columnas de direcciones y 6 filas de bandas de magnitud, conteniendo la frecuencia de ocurrencia en cada combinación (SHOA, 2005).

4.2.2 ANÁLISIS DE LARGO PLAZO

En primer término, deben identificarse los valores extremos (altura de ola significativamente extremas para la ingeniería, asociada a tormentas o frentes de mal tiempo). Considerando la influencia de eventos climáticos, que hayan ocurrido en el área de estudio, con el fin de evaluar eventos que podrían ocurrir a lo largo de la vida útil del proyecto y así, estimar condicionantes de diseño.

Para identificar dichos valores, existen dos métodos: uno llamado “máximo anual” que selecciona el valor máximo de cada año dentro del registro, creando una serie tan larga como la cantidad de años de medición; y otro método, llamado “máximos sobre un umbral” que selecciona una serie de valores que superan un umbral definido.

Se presenta un esquema de la forma de seleccionar una serie de datos extremos con ambos métodos descritos (ver Figura 4.11). Sobre un registro de parámetros de resumen de oleaje, se seleccionan: con un círculo los valores extremos relacionados a tormentas anuales formando una serie con la misma cantidad de datos que años de medición y con una cruz se seleccionan valores extremos que superan el umbral definido, formando una serie con tantos elementos como valores que superen el umbral.

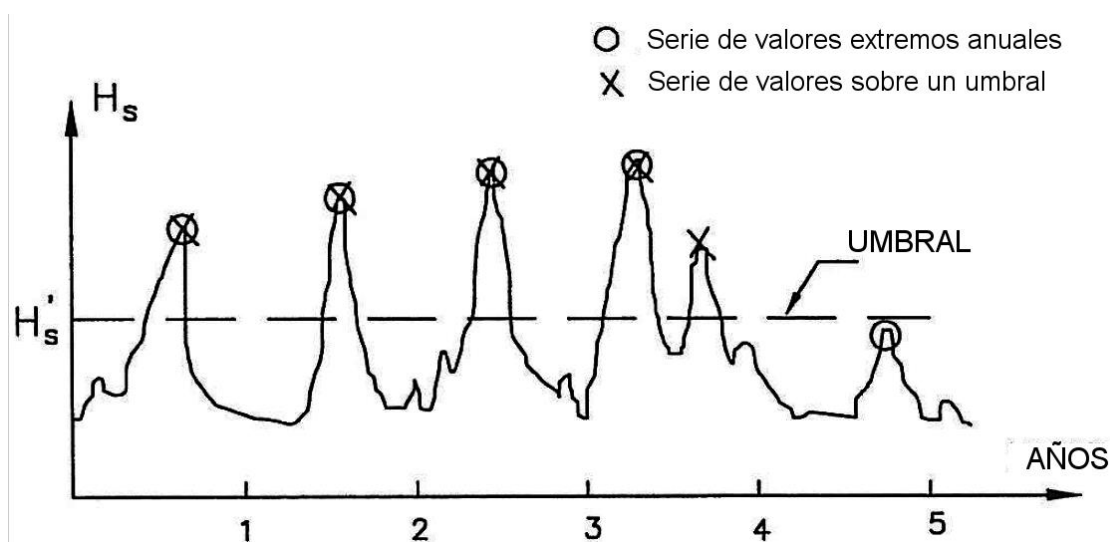


FIGURA 4.1: MÉTODOS PARA LA SELECCIÓN DE VALORES EXTREMOS. FUENTE: (LIU & FRIGAARD, 1999).

La diferencia principal entre ambos métodos radica que los valores elegidos anualmente tienen una periodicidad constante, sin embargo, el otro método, selecciona las tormentas consideradas extremas, dando cabida a series con más, menos o igual cantidad de datos que años de medición, para un análisis conservador o reformista.

Una vez identificados los valores extremos, se realiza un análisis estadístico que resulte en una estimación de las máximas alturas de oleaje con períodos de retorno de 5, 10, 25, 50, 75 y 100 años, incluyéndose el error asociado al cálculo. Esta estimación utiliza distribuciones de probabilidad no lineales, a las cuales se les realiza un ajuste para linealizarlas obteniendo el mejor coeficiente de correlación entre las distribuciones. La función ajustada indica el valor extremo más probable para un periodo de retorno asociado (Liu & Frigaard, 1999).

Algunas de las distribuciones de probabilidad que reúnen las condiciones para ser linealizadas son la siguientes:

TABLA 4.1: DISTRIBUCIONES CANDIDATAS LINEALIZADAS.

Nombre de la Distribución	Función probabilística	Probabilidad	Ecuación
Exponencial	$F = F_X(x)$	$P(X < x)$	$1 - e^{-\left(\frac{x-B}{A}\right)}$
Weibull	$F = F_X(x)$	$P(X < x)$	$1 - e^{-\left(\frac{x-B}{A}\right)^k}$
Gumbel	$F = F_X(x)$	$P(X < x)$	$e^{-e^{-\left(\frac{x-B}{A}\right)}}$
Log-normal	$F = F_X(x)$	$P(X < x)$	$\Phi \left[\frac{\ln(x) - B}{A} \right]$

Fuente: (Liu & Frigaard, 1999)

donde:

- x : Magnitud característica máxima de la serie de valores a utilizar.
- X : Magnitud probable.
- $F_X(x)$: Función de probabilidad de no-ocurrencia (frecuencia acumulada de x).
- $P(X < x)$: Distribución de probabilidad.
- A y B : Parámetros de distribución que dependen de cada distribución.
- k : Coeficiente a dimensional.
- Φ : Función de distribución normal estándar.

Luego de determinar los valores de probabilidad, se procede a graficar la magnitud Vs. la probabilidad de ocurrencia y se le realiza una línea de tendencia para encontrar el factor de correlación (R^2) que indica el porcentaje de certidumbre de dicha distribución.

Una vez determinada la distribución con el menor error de correlación se calcula la probabilidad de ocurrencia para los periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años (Liu & Frigaard, 1999). Con la siguiente ecuación:

$$F = 1 - \frac{1}{\lambda T} \quad \text{Ec. 4.1}$$

donde:

- F : Función linealizada.
- T : Periodo de retorno [años].
- λ : Ratio entre cantidad de datos y años.

Para mayor detalle del proceso y de las funciones de distribuciones implicadas y su proceso de linealización, se recomienda revisar el libro “*Generation and analysis of random waves*” de Liu & Frigaard (1999).

4.2.2.1 BANDAS DE CONFIANZA

En la interfaz océano-atmósfera, es común que existan eventos climáticos de extremidad estadística con periodos de retorno mucho mayores a las condiciones de diseño (Goda, 2000). Esto debido a la incertidumbre que identifica a los procesos físicos naturales presentes en el planeta. Para disminuir la incertidumbre, se puede asociar la desviación estándar de cada valor extremo estimado por alguna de las distribuciones candidatas (ver Tabla 4.1) generando un rango entorno a un valor central.

Para un dato extremo, de la serie de valores extremos, se asume otra serie finita de números entre 0 y 1, cuya distribución sea normal estándar. Luego se calcula la desviación estándar para una frecuencia acumulada determinada, generando un intervalo de confianza (Liu & Frigaard, 1999).

A continuación, se presenta un ejemplo (ver figura 3.7) de intervalo de confianza del 90% de confiabilidad, para la variable con periodo de retorno 100 años, en un gráfico de periodo de retorno Vs. variable de diseño. El valor estimado con distribución Gumbel para los 100 años de retorno es 12.2 (m), aplicando la desviación estándar del 90% el límite superior del intervalo resulta 14.8(m) y un límite inferior de 9.6 (m).

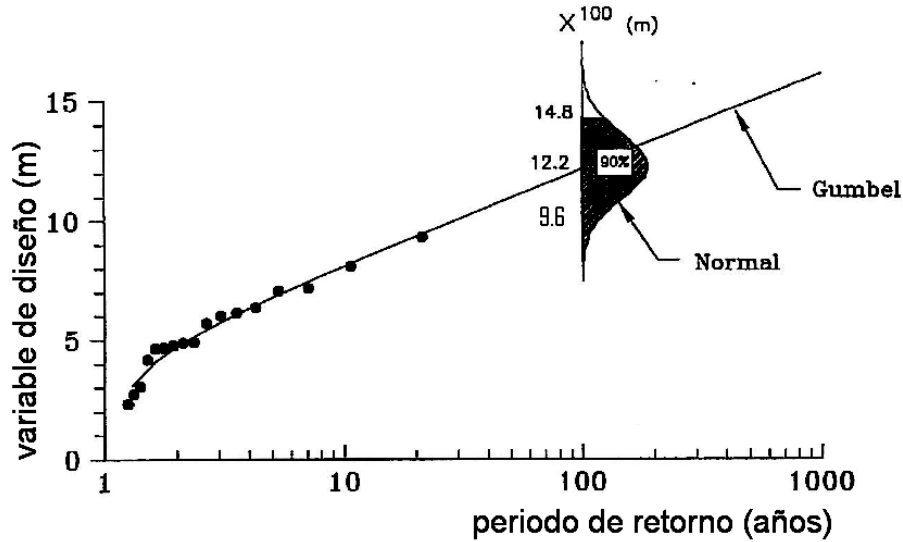


FIGURA 4.2: EJEMPLO DE INTERVALO DE CONFIANZA. FUENTE: (LIU & FRIGAARD, 1999).

Este proceso se realiza la cantidad de veces como datos tenga la serie de valores extremos, generando dos series: una superior y otra inferior. a ambas series mencionadas se les ajusta la misma distribución del análisis extremo, formando una banda de confianza superior y otra banda de confianza inferior.

4.2.3 OLEAJE AL PIE DE LA OBRA

Para estimar las condiciones de oleaje que arriba al pie de la obra, se consideran los efectos del fondo, utilizando el sistema de ecuaciones propuesto por Goda (1985), para resolver estas ecuaciones se desprecian los fenómenos de refracción y difracción, considerando únicamente el asomeramiento. Además, considera la pendiente de fondo de la siguiente manera:

$$H_G = \left\{ \begin{array}{l} K_S * H_S : Si \ h/L_0 \geq 0.2 \\ \min (\beta_0 * H_S + \beta_1 * h ; \beta_{max} * H_S ; K_S H_S) : Si \ h/L_0 < 0.2 \end{array} \right\} \quad \text{Ec. 4.2}$$

$$\beta_0 = 0.028 \left(\frac{H_S}{L_0} \right)^{-0.38} * \exp(20 \tan \theta^{1.5}) \quad \text{Ec. 4.3}$$

$$\beta_1 = 0.25 * \exp(4.2 \tan \theta) \quad \text{Ec. 4.4}$$

$$\beta_{max} = \max \left\{ 0.92 ; 0.32 \left(\frac{H_S}{L_0} \right)^{-0.2*9} * \exp(4.2 \tan \theta) \right\} \quad \text{Ec. 4.5}$$

donde:

H_G : Altura significativa de oleaje propagada al pie de la obra.

K_S : Coeficiente de asomeramiento de Sholing.

H_S : Altura significativa a propagar al pie de la obra.

h : Profundidad de un punto de entrada relacionado a H_G .

L_0 : Longitud de onda de la ola relacionada con H_G .

$\tan \theta$: Pendiente de fondo.

$\beta_0, \beta_1, \beta_{max}$: Factores empíricos de Goda (1985).

4.3 METODOLOGÍA PARA ANÁLISIS DE ONDA DE MAREA

El fin de analizar el comportamiento de la onda de marea es estimar los posibles niveles que experimenta la superficie del océano a lo largo del tiempo de servicio de la obra, en un sitio de interés, utilizables en el diseño de ingeniería costera (SHOA, 1999).

Para lograrlo se deben realizar campañas de medición con dispositivos denominados mareógrafos, o simplemente, registrando constantemente la altura del agua (SHOA, 1999).

Para captar el ciclo lunar, las mediciones tienen que ser de al menos un mes, con registro de desnivelaciones cada un minuto. Independiente del método de registro, toda medición tiene que ser validada por el organismo competente (SHOA, 1999).

La variable que se debe obtener es la amplitud de cada forzante: gravitacional y meteorológica. Existen dos métodos para determinar la amplitud de diseño: uno básico aplicando aritmética clásica y otro que calcula las constituyentes armónicas (componentes periódicas del acenso y descenso rítmico del mar).

4.3.1 ANÁLISIS ASTRONÓMICO

Este tipo de análisis estima un rango de mareas, el cual se utiliza como variable de diseño, considerada como condicionante de diseño operacional.

4.3.1.1 MÉTODO ARMÓNICO

Este análisis utiliza el método de los mínimos cuadrados sobre un registro finito de niveles del mar, es aplicado para determinar la amplitud y fase de las constituyentes armónicas en un sitio particular (Foreman, 1997).

Un armónico es una onda sinusoidal perfecta que se extiende infinitamente con longitud y periodo constantes. El análisis armónico superpone muchas ondas perfectas para estimar el comportamiento de una onda imperfecta de marea. Cada una de estas ondas armónicas tienen el nombre de constituyentes armónicas y expresan el grado de influencia de los astros (Foreman, 1997).

Considerando cada uno de los movimientos cíclicos generados por los astros, según Foreman (1997), la marea astronómica se calcula de la siguiente manera:

$$Z(t) = Z_0 + \sum_i^n a_i \cos(\omega_i * t + \delta_i) , \omega_i = \frac{2\pi}{T_i} \quad \text{Ec. 4.6}$$

donde:

$Z(t)$: Nivel medio del mar en cada unidad de tiempo (t).
Z_0	: Nivel medio del mar para el largo del registro.
i	: Constituyentes armónicas.
n	: Cantidad total de constituyentes armónicas.
a_i	: Amplitud de las constituyentes armónicas.
δ_i	: Desfase de cada armónico alcanzado.
ω_i	: Velocidad angular de la luna sobre el planeta.
T_i	: Periodo de cada constituyente.

Una vez estimada la serie irregular con la suma de muchas series armónicas, se procede a comparar la predicción armónica con un registro real. La diferencia entre ambas (predicción y realidad) se conoce como residuo meteorológico y representa la influencia meteorológica compuesta por la acción del viento, de las presiones atmosféricas, el oleaje y otras acciones medioambientales que puedan ocurrir en él lugar.

4.3.1.2 MÉTODO NO ARMÓNICO O ESTADÍSTICO

Estadísticamente se estiman los principales planos de referencia sobre un registro de desnivelaciones como se muestra en la figura 4.2.

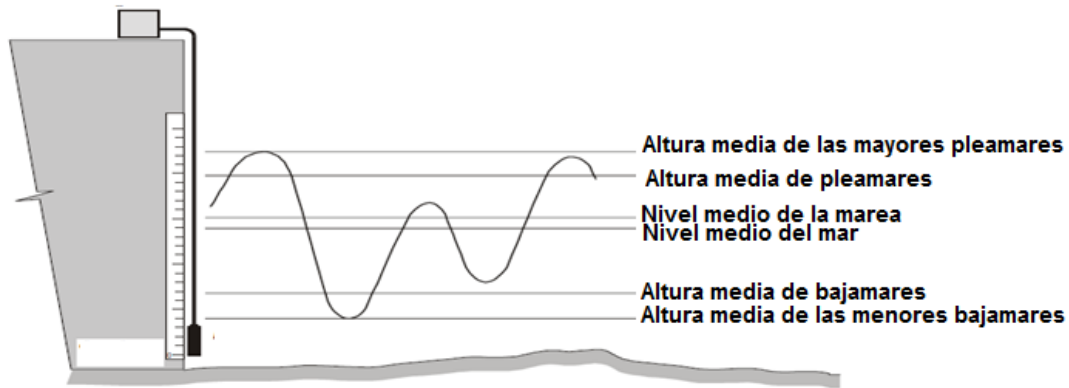


FIGURA 4.1: PLANOS REFERENCIALES DE LA MAREA. FUENTE: (SHOA, 1999).

A continuación, se describe cada uno de los planos de referencia para el análisis no armónico.

- I. Nivel medio del mar: plano en el cual oscila la marea, sirve como referencia para ubicar altitud relativa entre localidades y accidente geográficos. Se estima observando en forma horaria la altura del nivel del mar, aplicando el promedio aritmético que puede ser semanal, mensual o anual. (SHOA, 1999).
- II. Nivel medio de la marea: plano de referencia que corresponde al promedio de todas las pleamares y bajamares, en primer lugar, se deben identificar las pleam y bajamares (SHOA, 1999).
- III. Altura media de las pleamares: plano que corresponde al promedio de todas las pleamares registradas durante todo el periodo de observación (SHOA, 1999).
- IV. Altura media de las bajamares: corresponde al promedio aritmético de todas las bajamares registradas durante el periodo de observación (SHOA, 1999).
- V. Altura media de las mayores pleamares: corresponde al promedio aritmético de las pleamares más altas durante el periodo de observación. Se define como altura media de las mayores pleamares (SHOA, 1999).
- VI. Altura media de las menores bajamares: análogamente al caso anterior, es el promedio aritmético de las bajamares más bajas.
- VII. Nivel de reducción de sonda (N.R.S): es el plano en el cual están referidas las sondas. La navegación necesita conocer mínima profundidad que se puede encontrar en un punto específico. Por lo que usualmente se adopta como datum de carta algún nivel relacionado con las bajamares más bajas, un plano tan bajo que la marea rara vez descenderá bajo este (SHOA, 1999). Cabe destacar que cada país adopta un N.R.S de acuerdo con las características del régimen de marea de sus costas (SHOA, 1999).

Una vez determinado algebraicamente cada plano de referencia, se debe calcular los rangos de marea, siendo estos, la diferencia entre los planos.

4.3.2 ANÁLISIS METEOROLÓGICO

Si se cuenta con mediciones de mareas históricas en el sitio de interés, se puede realizar el método del residuo histórico. El fin de este análisis es encontrar un peralte meteorológico máximo, que incluya la sobre elevación por viento, presión, oleaje y otros efectos presentes en el lugar.

La metodología es la siguiente: en primer lugar, se realiza un análisis armónico (ver capítulo 4.3.1.1) para todo el largo del registro histórico (no existe normativa vigente, sin embargo, se recomiendan 15 años de mediciones continuas).

Luego esta predicción armónica (resultado del análisis armónico), se compara con el registro medido (estadística real). La diferencia entre ambas series da paso a una serie de menor amplitud llamada residuo cuya magnitud es atribuida a la magnitud de la componente meteorológica de la marea, incluidas las forzantes de viento, presión atmosférica y oleaje.

Posteriormente al residuo obtenido se le aplica un análisis de largo plazo (Ver capítulo 4.2.2), para ello se seleccionan los valores extremos de desnivelación observada, para estimar un peralte meteorológico asociada a una probabilidad de ocurrencia que sirva como una condicionante de diseño estructural.

4.4 METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE CORRIENTE

En ingeniería costera, las variables más importantes son las que interactúan con alguna estructura proyectada en algún sitio de interés. Por ello, solo se presenta la metodología para el análisis de las corrientes costeras responsables del transporte de sedimentos trasversal.

Se analiza una corriente capaz de iniciar el movimiento de partículas sedimentarias y ponerlas en suspensión generando un transporte sedimentario capaz de socavar una obra.

El análisis transversal tiene como fin determinar la profundidad en la cual comienza el transporte normal a la costa (profundidad de cierre) y determinar la profundidad donde deja de ser importante y comienza a ser relevante el transporte paralelo a ella (profundidad activa) (Benítez, 2014) a continuación se presenta la metodología para determinar cada una de ellas.

4.4.1 PROFUNDIDAD DE CIERRE

La profundidad de cierre se define como la profundidad en la cual las variaciones verticales del talud a lo largo del tiempo son imperceptibles (Benítez, 2014).

Es de importancia conocer esta profundidad en ingeniería marítima, ya que es la indicadora de zonas de socavación. Para estimarla es necesario conocer el parámetro de

altura de ola que es superada doce horas al año (H_{12}). se calcula de la siguiente manera (Benítez, 2014):

$$d_L = 3.5 * H_{12} \quad \text{Ec. 4.7}$$

donde:

d_L : Profundidad de cierre [m]

H_{12} : Altura de ola superada 12 horas al año [m]

La profundidad de cierre dependerá directamente de la energía del oleaje incidente, por lo que generalmente se estima una profundidad de cierre máxima con una ola de periodo de retorno asociado a la vida útil del proyecto.

4.4.2 PROFUNDIDAD ACTIVA

La profundidad activa está comprendida entre la rotura y la profundidad de cierre, lugar donde los efectos normales a costa son débiles y los efectos paralelos son intensos, es una zona donde su talud es altamente cambiante en el tiempo (zona donde tiene lugar la deriva litoral).

Según Hellermeier (1981), para todo tipo de oleaje se puede aplicar la siguiente ecuación genérica, donde la profundidad activa depende de una altura de ola esperada y el periodo de esta.

$$d_1 = 2.28 * H_{12} - 68.5 \left(\frac{H_{12}^2}{g * T_p^2} \right) \quad \text{Ec. 4.8}$$

donde:

d_1 : Profundidad activa [m]

H_{12} : Altura de ola superada 12 horas al año [m]

T_p : Periodo pico asociado a H_{12} [s]

4.5 METODOLOGÍA DE DISEÑO

A continuación, se realiza una breve reseña de las formulaciones aptas para el diseño hidráulico de las alternativas de solución, las cuales contemplan: para un escenario económico, una explanada de patio de contenedores realizado con un muro de escollera que sirva de protección costera; y para un escenario urbano-sociocultural, un muro costero de contención que soporte una ciclovía y calzada.

4.5.1 MURO DE ESCOLLERA

Este tipo de estructura se realiza para separar una zona seca de otra cubierta por agua. Está constituida básicamente por un núcleo de material fino y poco poroso que impide la transmisión energética, cubierto por una o varias capas de rocas ordenadas de crecientemente hacia el exterior, cuya función es impedir que el núcleo se disperse por la

acción de la interfase océano-atmósfera. El manto exterior hecho de rocas o elementos prefabricados de mayor tamaño es el que le brinda la capacidad resistente del conjunto estructural (DOP, 2013).

A continuación, se presenta un esquema de la sección tipo de un dique en talud de protección costera. Donde R_C es la cota de coronamiento o francobordo, α es la pendiente de escollera, B es el ancho de manto o berma de coronación y finalmente d es la profundidad al pie de la obra y NMM es el nivel medio del mar.

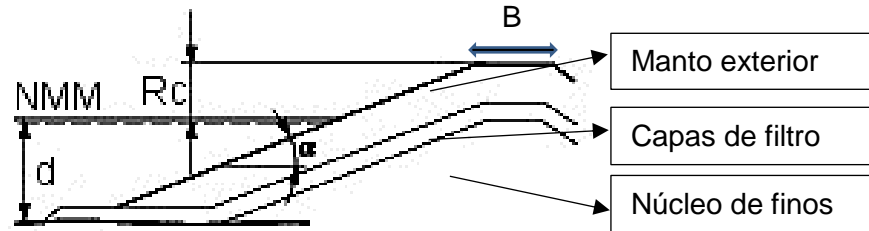


FIGURA 4.2: SECCIÓN TIPO DE ESCOLLERA DE PROTECCIÓN. FUENTE: (USACE, 2002).

A continuación, se presentan las metodologías y formulaciones para calcular cada parámetro de esta tipología estructural:

4.5.1.1 SOBREPASO Y COTA DE CORONAMIENTO.

El sobrepaso del mar a una estructura, puede ser un fenómeno sumamente destructivo para el borde costero. Se produce cuando el run-up que genera una ola específica es mayor que la cota de coronamiento de una estructura (USACE, 2003). Conceptualmente Run-up es la elevación máxima, respecto al nivel de agua quieta, de una onda de oleaje rota.

El fenómeno de sobrepaso tiene unidades de medida de flujo volumétrico por metro lineal [m^3/s por m] o [l/s por m], depende del tipo de oleaje y el tipo de estructura. Para definir la cantidad de caudal admisible, existe una tabla en el manual CEM (Table VI-5-6 Critical Values of Overtopping Discharges) y otra en el manual Eurotop, especializado en sobrepaso.

Para estructuras de talud de enrocados Owen (1982) realizó una formulación basada en modelamiento físico que depende del caudal admisible de sobrepaso, cota de coronamiento de estructura, altura de oleaje, entre otros factores geométricos y ambientales (USACE, 2002). A continuación, se presenta dicha fórmula:

$$\frac{Q_{adm}}{g H_s T_{om}} = a \exp \left[-b \frac{R_C}{H_s} \sqrt{\frac{S_{om}}{2\pi}} \frac{1}{\gamma_r} \right] \quad \text{Ec. 4.9}$$

donde:

- Q_{adm} : Caudal admisible de sobrepaso. [$m^3/s/m$]
- R_C : Francobordo o cota de coronamiento [m]
- g : Aceleración de gravedad [m/s^2]
- H_s : Altura de oleaje de diseño [m]

T_{om} : Periodo medio [s]
 S_{om} : Esbeltez, ratio entre altura de ola y longuitas de onda
 a y b : Parámetros geométricos, definidos por la siguiente tabla:

TABLA 4.2 PARÁMETROS GEOMÉTRICOS DE OWEN (1982)

Pendiente de talud	a	b
1:1	0.008	20
1:1.5	0.010	20
1:2	0.013	22
1:3	0.016	32
1:4	0.019	47

Fuente: (USACE, 2002)

γ_r : Permeabilidad de la superficie de la estructura.

TABLA 4.3 PARÁMETROS DE PERMEABILIDAD DE OWEN (1982)

impermeable	1
Capa de piedras con base impermeable	0.8
Grava, gaviones	0.7
Dos capas de Descarte de cantera	0.5-0.6

Fuente: (USACE, 2002)

4.5.1.2 MANTO SUPERIOR

El manto superior está compuesto generalmente por dos capas de rocas o elementos prefabricados, capaces de soportar el embate del oleaje durante la vida útil de una obra de protección costera (DOP, 2013).

Se presenta la formulación con base empírica propuesta por Hudson (1974) para escolleras de roca, la cual relaciona: el diámetro característico de los elementos individuales que conforman la coraza, con el oleaje, la densidad de los componentes y la pendiente del talud (USACE, 2002).

$$\frac{H_D}{\Delta D_{n50}} = (K_D \cot \alpha)^{1/3} \quad \text{Ec. 4.10}$$

donde:

H_D : Altura de diseño al pie de la obra. [m]

Δ : Densidad relativa del material $\frac{\rho_{roca}}{\rho_{agua}} - 1$

D_{n50} : Diámetro característico de rocas de talud [m]

α : Ángulo entre el talud y eje de abscisas ($\cot \alpha =$ pendiente del talud) [°]

K_D : Coeficiente de estabilidad, definido en la siguiente tabla:

TABLA 4.4 VALORES TÍPICOS DE COEFICIENTE DE ESTABILIDAD DE HUDSON (1974)

Forma de la piedra	Emplazamiento	Daño 0 - 0.5 %	
		Oleaje rompiente	Oleaje no rompiente
Pendiente redondeada	Aleatorio	2.1	2.4
Quiebres angulares	Aleatorio	3.5	4.0
Quiebres angulares	Especial	4.8	5.5

Fuente: (USACE, 2002)

Para determinar el ancho del manto o berma de coronación (símbolo “B” en la Figura 4.2), se utiliza la siguiente formulación también expuesta en USACE (2002).

$$B = n K_p \left(\frac{W}{\gamma_{roca}} \right)^{1/3} \quad \text{Ec. 4.11}$$

donde:

- B : Ancho de berma de coronamiento [m].
 n : Número de capas de la escollera.
- I. Según SPM (1984), se recomiendan mínimo 3 capas puestas horizontalmente.
 - II. USACE (2002), recomienda 2 capa de manto.
- K_p : Coeficiente de porosidad, según USACE (2002) para roca angular es 1.
 W : Peso de elementos de coraza de diámetro nominal D_{n50} .
 γ_{roca} : Peso específico de la roca.

USACE a través de su manual CEM, exponen otras formulaciones aplicables para distintos materiales de coraza (dolos, tetrápodos, entre otros), distintas pendientes de berma y combinaciones geométrica, se recomienda visitar la Parte VI, capítulo 5 del manual CEM llamado “*Fundamentals of Desing*” (USACE, 2002).

4.5.1.3 FILTRO

La función del filtro es evitar que el material fino del núcleo sea puesto en suspensión por la acción directa o indirecta del oleaje (DOP, 2013). Los pesos de las rocas que componen el filtro están directamente relacionados con los pesos de los elementos individuales del manto de coraza, se calculan de la siguiente manera (USACE, 2002):

$$\frac{W_{manto}}{15} < W_{filtro} < \frac{W_{manto}}{10} \quad \text{Ec. 4.12}$$

Las rocas del filtro deben estar instaladas de adentro hacia afuera, donde las rocas de menor peso se posicionan cerca del núcleo y los elementos de mayor tamaño son ubicados cerca del manto principal.

4.5.1.4 NÚCLEO

El núcleo está compuesto por material con permeabilidad baja y alta cohesión, el peso de los elementos individuales son una fracción del peso de las rocas del manto superior (USACE, 2002).

$$\frac{W_{manto}}{4000} < W_{núcleo} < \frac{W_{manto}}{200} \quad \text{Ec. 4.13}$$

4.5.1.5 PIE DE APOYO

En la bibliografía existen muchas formas y tipos de pie de apoyo, usados en la ingeniería dependiendo de la configuración espacial del lugar, junto con las características del suelo y las condicionantes ambientales.

Todos los tipos cumplen con la misma función, evitar la socavación y falla de muros de escollera. A continuación, se presentan algunos tipos de pie de apoyo (figura 4.4) donde los tipos A y B se utilizan cuando el suelo es de roca, Los elementos del pie son idénticos a las rocas del manto superior. Los del tipo C son utilizados en zonas de aguas someras donde el suelo es de material sedimentario (USACE, 2002).

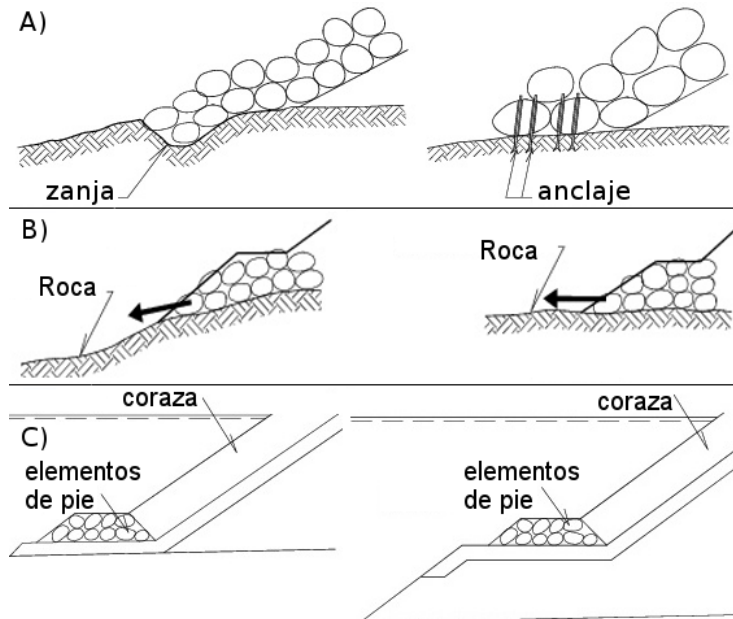


FIGURA 4.3: TIPOS DE PIE DE APOYO. FUENTE: (USACE, 2002).

Para calcular el peso de los elementos de pie de apoyo trapezoidal (Tipo C, Figura 4.3) se presenta la formulación de base empírica propuesta por Van der Meer, d'Angremond y Gerding (1995), la cual estima la estabilidad de la berma de pie para escolleras con manto superior de roca con densidad $2.6 \text{ [T/m}^3\text{]}$. Esta formulación está testada para pendiente 2:3 del pie trapezoidal (USACE, 2002).

$$\frac{H_d}{\Delta D_{n50}} = \left(0.24 \frac{h_b}{D_{n50}} + 1.6 \right) N_{od}^{0.15} \quad \text{Ec. 4.14}$$

donde:

- H_d : Altura de diseño de oleaje incidente.
- Δ : Densidad relativa del material $\frac{\rho_{roca}}{\rho_{agua}} - 1$.
- D_{n50} : Diámetro característico de los elementos del pie de apoyo.
- h_b : Profundidad de agua sobre el pie trapezoidal.
- N_{od} : Número de unidades desplazadas fuera del pie, donde:
 - I. 0.5 sin admitir daños.
 - II. 2 daño moderado.
 - III. 4 daño severo.

4.5.2 MUROS COSTEROS DE CONTENCIÓN

Estructuras generalmente paralelas a la línea de costa que separan un sector marítimo de un sector terrestre. El fin de un muro costero es contener el suelo y evitar deslizamientos de tierra hacia el mar. También son diseñadas para proteger el litoral de la erosión costera. (DOP, 2013). A continuación, se presenta una descripción de las principales consideraciones de diseño de un muro del tipo cantiléver junto con un diagrama de cuerpo libre del muro y las fuerza percibidas.

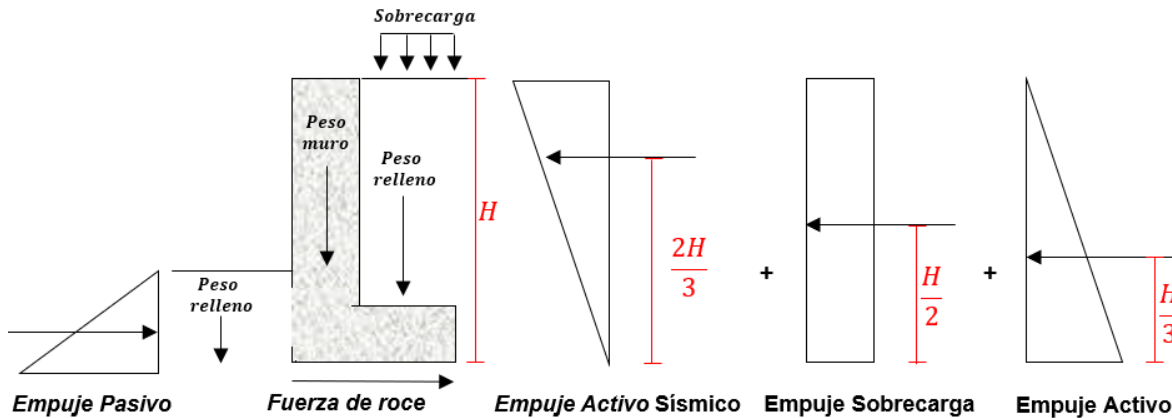


FIGURA 4.4 DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE DE UN MURO CANTILÉVER, FUENTE: (DOP, 2013)

4.5.2.1 COTA DE CORONAMIENTO

Al igual que la tipología anteriormente definida, al estar vulnerables al comportamiento aleatorio de la interfaz océano-atmósfera ambas sufren sobrepaso, se debe fijar un caudal admisible de sobrepaso. Sin embargo, las ecuaciones que relacionan el francobordo con el caudal admisible son distintas a las de muros de escolleras. Para muros verticales, se presenta la formulación general, estima la cantidad de sobrepaso en función de la cota de coronamiento. La cual es sensible a la altura de oleaje de diseño, Depende del material y geometría del muro (Van der Meer, et al., 2016).

$$\frac{Q_{adm}}{\sqrt{g H_d^3}} = 0.09 \exp \left[- \left(1.5 \frac{R_c}{H_d \gamma_f \gamma_\beta \gamma^*} \right)^{1.3} \right] \quad \text{Ec. 4.15}$$

donde:

- Q_{adm} : Caudal admisible de sobrepaso. [m³/s/m].
- R_c : Francobordo o cota de coronamiento [m].
- g : Aceleración de gravedad [m/s²].
- H_d : Altura de oleaje de diseño [m].
- γ_f : Factor de rugosidad del material, impermeable igual a 1.
- γ_β : Factor Angulo de incidencia, perpendicular =1.
- γ^* : Factor inclinación, donde 1 es vertical.

4.5.2.2 EMPUJE ACTIVO

El empuje activo se clasifica como la presión lateral que ejerce el terreno a contener sobre una estructura de contención (DOP, 2013), dado por la siguiente ecuación (Nilson, 2001):

$$P_A = 0.5 * K_A * \rho_{sat} * h^2 \quad \text{Ec. 4.16}$$

Donde:

P_A : Empuje activo.
 ρ_{sat} : Densidad del suelo, estado saturado.
 h : Altura del terreno a contener.
 K_A : Coeficiente de empuje activo dado por:

$$K_A = \frac{\cos^2(\phi_1 - \beta_1)}{\cos^2(\beta_1) \cos(\beta_1 + \delta) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi_1 + \delta) \sin(\phi_1 + i)}{\cos(\beta_1 + \delta) \cos(\beta_1 + i)}} \right]^2} \quad \text{Ec. 4.17}$$

Siendo:

ϕ_1 : Ángulo de fricción interna del suelo.
 β_1 : Inclinación del trazado del muro respecto a la vertical.
 δ : Ángulo de fricción suelo-muro.

Según Artur Nilson (2001) la forma del empuje activo es triangular para rellenos estructurales y actúa a un tercio de la altura total del muro (h) (Nilson, 2001).

Además del empuje de la tierra contenida, se incorpora el empuje activo por sobrecargas de uso uniformes, como se presenta en la siguiente ecuación (DOP, 2013).

$$P_{sc} = q_1 * K_A * h \quad \text{Ec. 4.18}$$

Donde:

P_{sc} : Empuje por sobrecarga de uso.
 q_1 : Carga uniforme de uso.
 K_A : Coeficiente de empuje activo.
 h : Altura del terreno a contener.

Luego debe incluirse el empuje activo sísmico, dado por la siguiente ecuación, la cual utiliza las variables ya mencionadas (DOP, 2013).

$$P_{AS} = 0.5 * K_{AS} * \rho_{sat} * h^2 * (1 - K_V) \quad \text{Ec. 4.19}$$

Donde:

P_{AS} : Empuje activo sísmico.
 K_{AS} : Coeficiente de empuje sísmico dado por:

$$K_{AS} = \frac{\sin^2(\phi_1 - \theta - \beta_1)}{\cos(\theta) \sin^2(\beta_1) \cos(\beta_1 - \delta - \theta) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi_1 + \delta) \sin(\phi_1 - \theta - i)}{\sin(\beta_1 + \delta + \theta) \sin(\beta_1 + i)}} \right]} \quad \text{Ec. 4.20}$$

- θ : Ángulo sísmico = $Tan^{-1}\left(\frac{K_h}{1-K_v}\right)$.
- K_h : Coeficiente de aceleración sísmica media = $\frac{A_0}{2}$.
- K_v : Coeficiente de aceleración sísmica = $\frac{A_0}{4}$.
- A_0 : Aceleración sísmica del talud dado por NCh 433.

Finalmente, de manera conservadora se considera un empuje hidráulico.

4.5.2.3 EMPUJE PASIVO

Referente a empujes resistentes que actúan en dirección opuesta a los activos, estos son pesos del muro y empuje pasivo de tierra. El empuje pasivo se calcula con la siguiente función (Nilson, 2001):

$$P_p = 0.5 * K_p * \rho_{sat} * h^2 \quad \text{Ec. 4.21}$$

Donde:

- P_p : Empuje pasivo.
- ρ_{seco} : Densidad del suelo seco.
- h : Altura del terreno a contener.
- K_p : Coeficiente de empuje pasivo dado por:

$$K_p = \frac{\cos^2(\phi_1 - \beta_1)}{\cos^2(\beta_1) \cos(\beta_1 + \delta) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi_1 + \delta) \sin(\phi_1 + i)}{\cos(\beta_1 + \delta) \cos(\beta_1 + i)}} \right]^2} \quad \text{Ec. 4.22}$$

Siendo:

- ϕ_1 : Ángulo de fricción interna del suelo.
- β_1 : Inclinación del trazado del muro respecto a la vertical.
- δ : Ángulo de fricción suelo-muro.

4.5.2.4 FACTOR DE SEGURIDAD

Se utiliza factor de seguridad para prevenir una falla estructural a lo largo de la vida útil de la obra, esto asegura que las solicitaciones estimadas sean siempre menores a la resistencia máxima del conjunto estructural (DOP, 2013). Existen factores de seguridad de deslizamiento que involucran las fuerzas resistentes y deslizantes, también existen factores de seguridad de volcamiento que relacionan el momento volante y el momento resistente de la siguiente manera:

$$FS_D = \frac{f * W + F_p}{P} \quad \text{Ec. 4.23}$$

$$FS_V = \frac{W * T_M}{P * H_V} \quad \text{Ec. 4.24}$$

donde:

FS_D	: Factor de seguridad al deslizamiento. Según DOP (2013): – $FS_D > 1.2$ en condiciones normales. – $FS_D > 1.0$ en condiciones extraordinarias.
f	: Coeficiente de fricción entre el suelo de fundación y el muro.
W	: Resultante de las fuerzas verticales que actúan en el muro.
Fp	: Resultante de los esfuerzos pasivos.
P	: Resultante de los esfuerzos activos o deslizantes.
FS_V	: Factor de seguridad al volcamiento. Según DOP (2013): – $FS_V = 1.2$ en condiciones normales. – $FS_V = 1.0$ en condiciones extraordinarias.
T_M	: Distancia entre la línea de aplicación de la resultante de las fuerzas verticales que actúa sobre el muro y la esquina frontal inferior del muro.
H_V	: Altura de aplicación de la resultante de las fuerzas horizontales actuando sobre el muro, medida desde el fondo del muro sumergido.

4.5.2.5 CUANTÍA DE ACERO

Para determinar el área de acero requerida se debe comprobar que el momento nominal resistente sea mayor al momento último, siendo este lo máximo que puede resistir el elemento de hormigón armado antes de fallar (Nilson, 2001). Conforme al método de minoración de la resistencia, se presentan las siguientes ecuaciones:

$$\phi Mn \geq Mu \quad \text{Ec. 4.25}$$

$$\phi Mn = \phi A_s * f_y \left(1 - 0.59 \frac{\rho f_y}{f'_c} \right) \quad \text{Ec. 4.26}$$

Donde:

ϕ	: coeficiente de reducción de resistencia, 0.9 según (Nilson, 2001).
Mn	: Momento resistente nominal.
Mu	: Momento resistente ultimo.
A_s	: Área requería de acero.
ρ	: peso específico del acero estructural.
f_y	: Tensión límite de fluencia del acero = 4200 [kg/cm ²].
f'_c	: Tensión máxima de compresión del hormigón = 250 [kg/cm ²].

En la literatura se encuentran relaciones para la cuantía máxima y mínima dependiendo si se quiere una falla frágil o dúctil respectivamente. Para más información de la metodología de diseño de armaduras de acero para hormigón se recomienda visitar el libro “*Diseño de Estructuras de Concreto*” de Arthur Nilson.

4.5.2.6 SOCAVACIÓN EN MUROS VERTICALES

En ingeniería costera, se concibe al fenómeno de socavación como una erosión causada por el impacto del oleaje en los muros costeros. Si el oleaje incidente no es limitado por profundidad, hay mayor probabilidad de que la erosión dañe a la estructura respecto al arribo de un oleaje limitado por profundidad, debido a la disipación energética presente en el proceso de rotura (USACE, 2002).

En muros verticales se cree que el proceso de rotura crea fuertes flujos verticales dirigidos hacia abajo que recorren el lecho de la base de la pared (ver Figura 4.5), provocando así, un hundimiento del talud sedimentario (USACE, 2002).

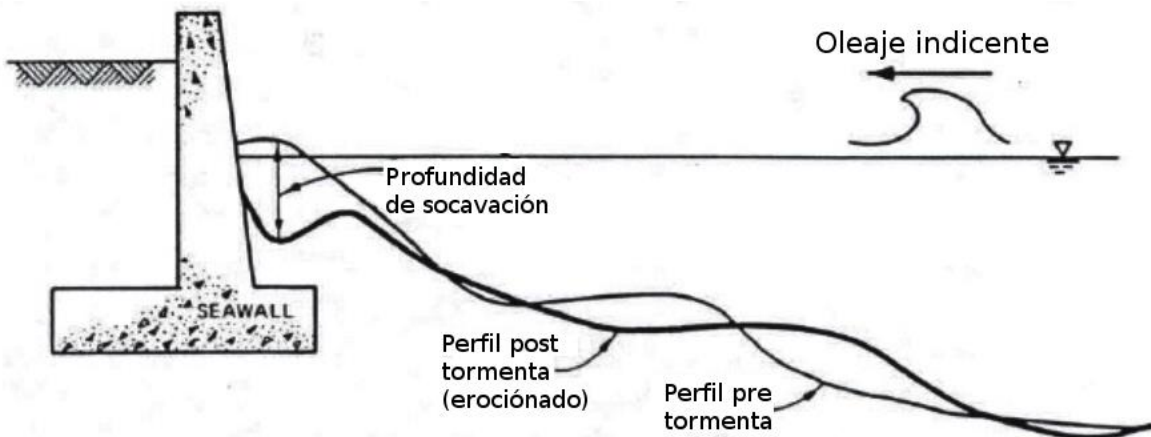


FIGURA 4.5 ESQUEMA DE SOCAVACIÓN EN MUROS VERTICALES PARA OLAJE ROMPIENTE. FUENTE: (USACE, 2002)

Se estima con la siguiente formulación propuesta por Fowler (1992) expuesta en (USACE, 2002) diseñada para oleaje limitado por profundidad o rompiente:

$$\frac{S_m}{H_{m0}} = \sqrt{22.72 \frac{h}{L_p} + 0.25} \quad \text{Ec. 4.27}$$

Donde:

- S_m : Profundidad máxima de socavación frente al pie del muro.
- H_{m0} : Altura cuadrática media del oleaje (se utiliza la altura de diseño).
- h : Profundidad de agua antes de la socavación en el muro, respecto a la cota de fundación.
- L_p : Longitud de onda de oleaje en aguas profundas.

Dicha ecuación con base empírica (Ec. 4.29) está testeada para los siguientes rangos:

$$0.011 < \frac{h}{L_p} < 0.045 \quad \text{y} \quad 0.015 < \frac{H_{m0}}{L_p} < 0.04$$

5 CARACTERIZACIÓN DEL MEDIO FÍSICO

Utilizando la información proporcionada en el capítulo 3 “Marco teórico” y en el capítulo 4 “Metodología”, se presentan los resultados de los análisis estadísticos o espectrales específicos para cada variable medioambiental, exponiendo procedencia de datos analizados y suposiciones a considerar.

5.1 CARACTERIZACIÓN BATIMÉTRICA

La información batimétrica recopilada, se utiliza en los estudios ambientales (oleaje y corrientes), además de ser parte fundamental del diseño conceptual de las alternativas.

Se cuenta con información de baja resolución de libre acceso proveniente de las cartas náuticas digitales del SHOA y con una batimetría de detalle con resolución de 10 [m] gentileza de DESMAR Ltda. A continuación, se presenta una tabla con el detalle de la información batimétrica recopilada.

TABLA 5.1 DETALLE DE INFORMACIÓN BATIMÉTRICA

Propiedad	Nombre	Escala [1:m]	Datum
SHOA.	Carta N° 4000	1:500.000	PSAD-56
SHOA.	Carta N° 4320	1:50.000	S6D-69
SHOA.	Carta N° 5000	1:500.000	PSAD-56
SHOA.	Carta N° 5111	1:10.000	WGS-84
DESMAR Ltda.	SmateoSonda	1:10	WGS-84

Fuente: elaboración propia

Para visualizar la batimetría se presenta un gráfico de color, en donde se muestra la distribución en planta, las profundidades de relieves del fondo marino y la parte continental. De color negro se muestra la zona seca o cotas superiores al nivel de reducción de zonda. De color azul se muestran las mayores profundidades y de color amarillo se muestran las profundidades menores (ver figura 5.1).

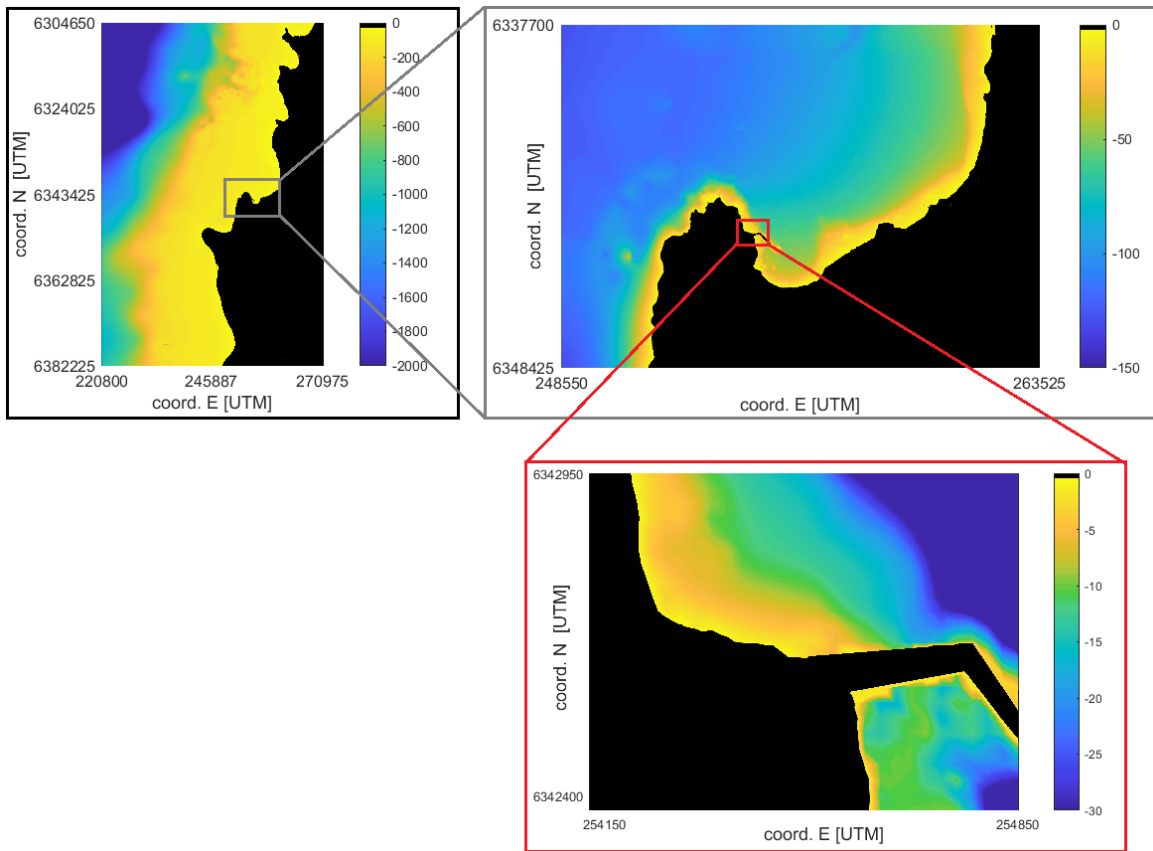


Figura 5.1: Batimetría interpolada con resolución de 25 [m]. Fuente: Elaboración propia, con datos de DESMAR Ltda. y SHOA.

Se observa en la Figura 5.1 tres gráficos de batimetría, el primero (de marco negro) representa el mallado principal, luego con borde gris se presenta un zoom que muestra el anidado de mallado intermedio. Finalmente, con borde rojo, se presenta el mallado fino que corresponde al segundo anidado generado con información batimétrica de propiedad de DESMAR Ltda.

5.1.1 GRANULOMETRÍA DEL SUELO MARINO LOCAL

Según Molteni (2014) el material sedimentario presente en playa San Mateo está compuesto en gran medida por gravas y arenas. No existe presencia de sedimentos finos del grupo de arcillas o limos.

A continuación, se muestra un histograma el peso retenido y porcentaje pasante en la zona sumergida de Playa San Mateo, donde el 38.27% de la muestra corresponde a grava fina, un 23.83% de arena gruesa y 14.83% corresponde a arena muy gruesa (Molteni, 2014).

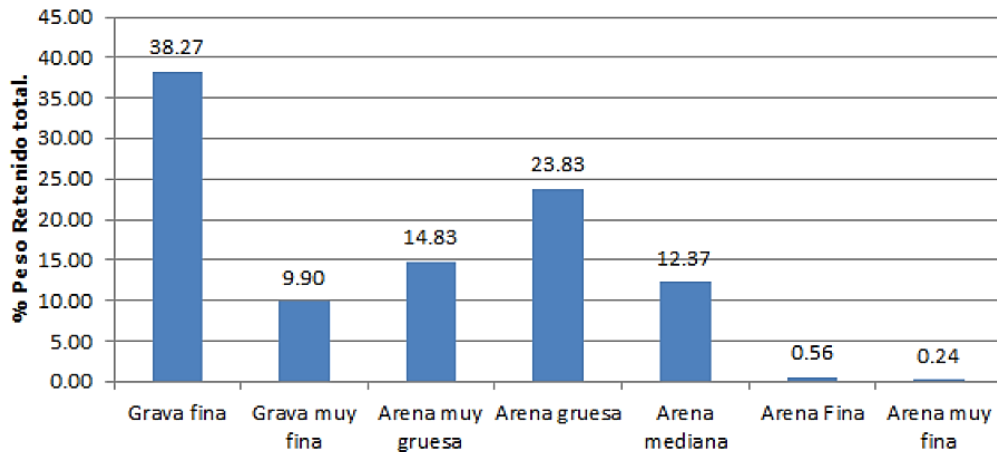


FIGURA 5.2 CLASIFICACIÓN SEDIMENTOLÓGICA, FUENTE: (MOLTENI, 2014).

A partir de la clasificación granulométrica, los diámetros relevantes de sedimento en la zona sumergida son los siguientes:

TABLA 5.2 DIÁMETROS CARACTERÍSTICOS RELEVANTES EN LA ZONA SUMERGIDA DE PLAYA SAN MATEO

Diámetros relevantes	Resultados [mm]	Clasificación
d95	-	Grava fina
d84	2.62	
d75	1.48	
d50	1.43	
d25	0.78	
d16	0.60	
d5	1.19	

Fuente: (Molteni, 2014)

Cabe destacar que, en toda la playa, ya sea parte sumergida o solana está compuesta en gran medida por piedras con diámetros de 10 cm o más (Figura 5.3).



FIGURA 5.3: FOTOGRAFÍA DEL SEDIMENTO DE LA PLAYA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA EN MAYO, 2017.

Para más información del análisis granulométrico, su metodología y análisis estadístico, se recomienda revisar documento titulado “Mejoramiento Del Borde Costero Aplicación A Playa San Mateo” de Molteni (2014).

5.2 CARACTERIZACIÓN DEL OLAJE

El siguiente estudio de oleaje tiene como fin determinar un clima operacional y otro estructural en el sitio de interés. Se utiliza información de libre acceso puesta a disposición por la Escuela de Ingeniería Civil Oceánica de la Universidad de Valparaíso en el marco del proyecto “Atlas de Oleaje de Chile”, en el cual se genera una información estadística histórica con el modelo Wavewatch III v.4.18 calibrado a partir de mediciones de altimetría satelital y de boyas (Beyá, et al., 2016).

La data obtenida corresponde a parámetros de resumen espectrales de oleaje cada 3 horas que contempla desde 1980 hasta 2015. Es entregada en un nodo que se encuentra en aguas profundas, específicamente en la latitud 33° sur y longitud 73° Oeste.

5.2.1 CLIMA EN AGUAS PROFUNDAS

La información producida por el modelo abarca 33 años de medición sin embargo solo se consideran los últimos 20 años conforme a lo indicado en la publicación 3201 del SHOA y rindiéndole honor a la eficiencia computacional. A continuación, se muestra una vista satelital del nodo de extracción de datos en aguas profundas.

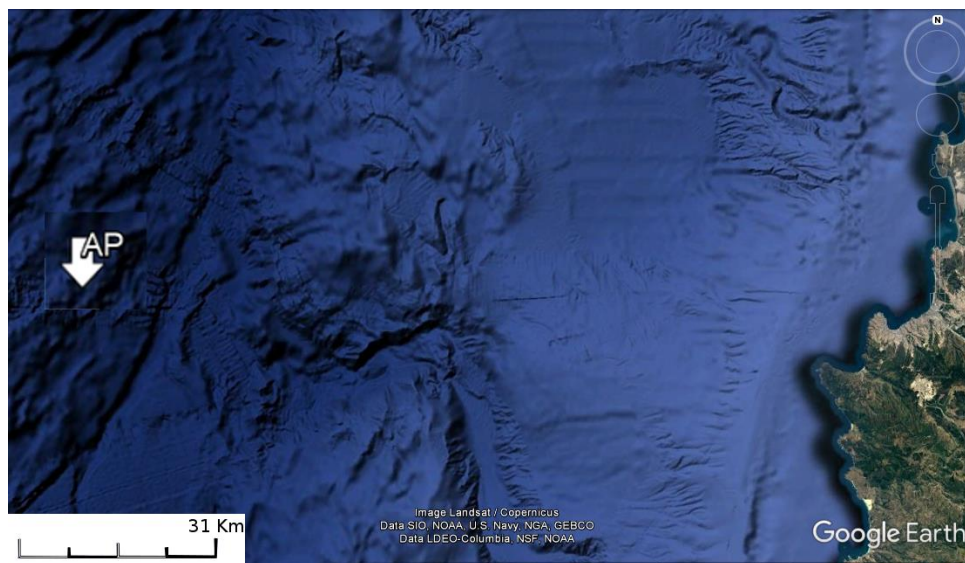


FIGURA 5.4 NODO EN AGUAS PROFUNDAS. FUENTE: (GOOGLE, 2017).

El punto “AP” se ubica la coordenada de latitud 33° Sur y coordenada de longitud 73° Oeste cuya profundidad supera a los 1000 metros bajo el nivel del mar.

5.2.1.1 CLIMA MEDIO

Para el clima medio de oleaje en aguas profundas utilizando la información antes detallada, se discretiza la altura de ola en siete intervalos de un metro cada uno, entre 0 y 7 [m]. Los periodos también son discretizados, sin embargo, a estos se les aplican diez intervalos de dos segundos cada uno que van desde el periodo 5 hasta 25 [s] de periodo peak. A continuación, se presenta una tabla de incidencia de periodo Vs. altura de ola.

TABLA 5.3 INCIDENCIA DE PERIODO VS. ALTURA

	[0 - 1]	[1 - 2]	[2 - 3]	[3 - 4]	[4 - 5]	[5 - 6]	[6 - 7]	Frec.
[5 - 7]	0.01%	0.39%	1.01%	0.01%				1.41%
[7 - 9]	0.01%	0.39%	1.76%	0.90%	0.01%			3.06%
[9-11]	0.11%	2.79%	2.20%	1.07%	0.12%	0.01%		6.29%
[11 - 13]	0.32%	13.92%	14.40%	1.83%	0.06%	0.01%	0.00%	30.54%
[13 - 15]	0.21%	12.70%	24.50%	9.29%	0.50%	0.03%		47.22%
[15 - 17]	0.05%	2.24%	3.37%	2.26%	0.36%	0.02%		8.30%
[17 - 19]	0.04%	0.97%	0.99%	0.33%	0.11%	0.01%	0.00%	2.45%
[19 - 21]	0.04%	0.30%	0.21%	0.04%	0.02%			0.60%
[21 - 23]		0.07%	0.01%	0.01%				0.09%
[23 - 25]		0.02%	0.00%					0.02%
Frec.	0.79%	33.77%	48.45%	15.74%	1.18%	0.07%	0.01%	100.00%

Fuente: Elaboración propia, con datos de (Beyá, et al., 2016)

Cabe destacar que en aguas profundas la altura de ola reinante es la del intervalo de entre 2 y 3 metros, con una incidencia de cerca del 50% de probabilidad de ocurrencia. El periodo reinante es de entre 12 y 14 segundos, donde ambos intervalos superan el 70 % de la probabilidad de ocurrencia.

Para describir las otras combinaciones de variables se añade una ilustración de 2 gráficos de Rosas de Oleaje, uno de altura vs. dirección y otro de periodo vs. dirección respectivamente (ver Figura 5.5).

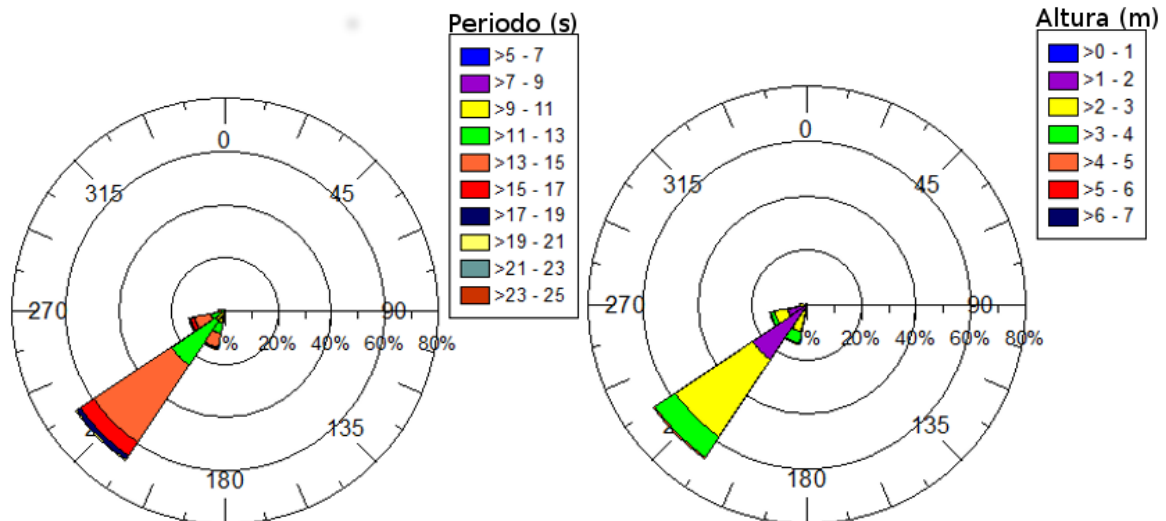


FIGURA 5.5: ROSAS DE OLAJE, PERIODO DIRECCIÓN Y ALTURA DIRECCIÓN. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA, CON DATOS DE (BEYÁ, ET AL., 2016).

Se observa que la dirección reinante o con mayor porcentaje de ocurrencia (mayor al 60%) en aguas profundas es el SW (225°). La altura reinante en la playa san mateo es menor a 3 [m].

5.2.1.2 CLIMA EXTREMO

Para determinar los valores que se consideran extremos se utiliza el método de máximos anuales, donde se elige la mayor tormenta por año, por lo que se seleccionaron 20 datos de altura con su respectiva dirección y periodo peak. Utilizando la metodología expuesta en el capítulo 4.2.2 “Análisis de largo plazo”, se ajusta una distribución estadística linealizada para estimar el comportamiento del oleaje a lo largo de la vida útil del proyecto. La serie de valores extremos seleccionados se encuentra en el anexo (ver Anexo C 3).

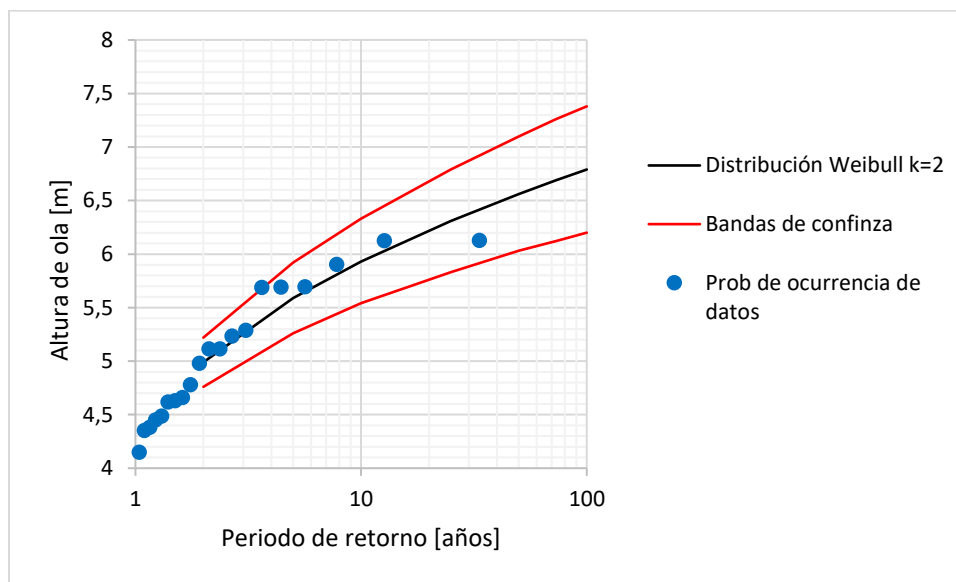


FIGURA 5.6: ANÁLISIS DE LARGO PLAZO EN AGUAS PROFUNDAS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA, CON DATOS DE (BEYÁ, ET AL., 2016).

Los valores de la variable de altura de ola espectral en aguas profundas en el largo plazo se muestran en la siguiente tabla:

TABLA 5.4 LARGO PLAZO EN AGUAS PROFUNDAS

Periodo de retorno [años]	Valor inferior de altura de ola [m]	Valor central De altura de ola [m]	Valor superior De altura de ola [m]
2	4.76	4.99	5.22
5	5.26	5.59	5.96
10	5.54	5.93	6.33
25	5.83	6.31	6.79
50	6.03	6.56	7.10
73	6.12	6.69	7.26
100	6.20	6.79	7.38

Fuente: Elaboración propia

La dirección extrema de oleaje en aguas profundas es oeste sur oeste (247.5°) ya que más del 25 por ciento de las tormentas provienen de esta dirección.

5.2.2 TRANSFERENCIA ESPECTRAL

Para conocer el comportamiento del oleaje en el sitio de interés del proyecto, se realiza una transferencia espectral de oleaje con el modelo numérico de libre acceso SWAN (Simulating Waves Nearshore) el cual promedia la fase y logra una propagación oceánica y costera desde aguas profundas hasta aguas intermedias, antes de la zona de rompiente. La metodología utilizada en el modelo numérico se describe en el capítulo 3.2.5.1 “*Software swan*”. A continuación, se presenta una imagen satelital del punto de inicio de la propagación en aguas profundas (AP) y el punto de término (N1) en aguas intermedias con una profundidad de -76 metros. Cabe destacar que se considera al periodo como constante dentro de la propagación por lo que el periodo medio en AP es el mismo en N1.

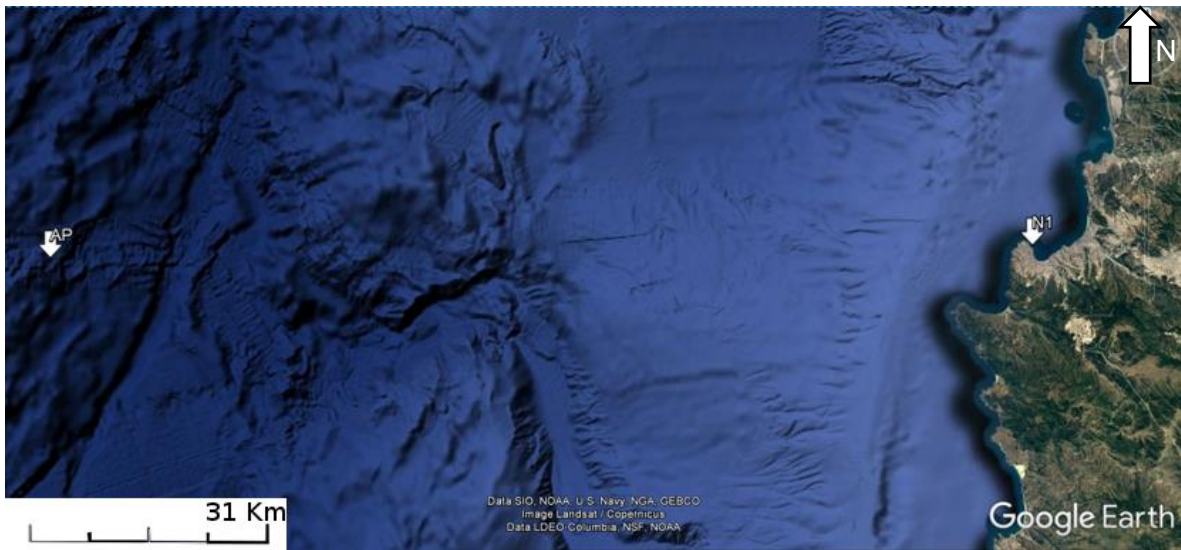


FIGURA 5.7: PUNTO DE INICIO Y FINAL DE LA TRANSFERENCIA ESPECTRAL. FUENTE: (GOOGLE, 2017).

Se utiliza el modelo de propagación costera SWAN (ver capítulo 3.2.5.1). se propaga todas las combinaciones con altura de- ola unitaria, obteniendo así, los coeficientes de agitación total KT cuyo valor será el porcentaje de reducción del oleaje. La propagación incluye el proceso de asomeramiento y refracción. Dichos coeficientes se obtienen luego de realizar más de 80 propagaciones. A continuación, se presenta un gráfico que muestra todos los coeficientes de agitación total.

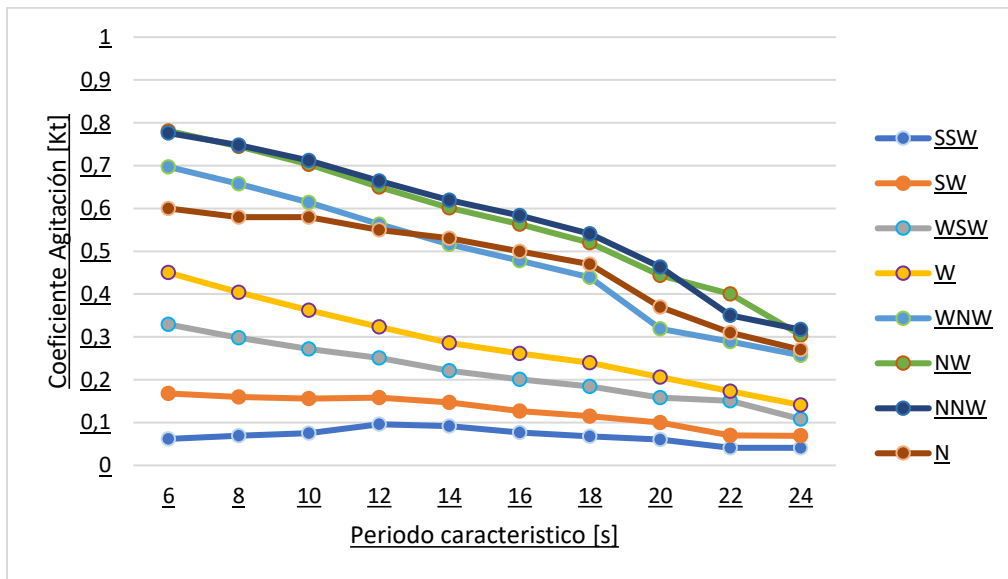


FIGURA 5.8 COEFICIENTE DE AGITACIÓN TOTAL (Kt). FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Cabe destacar que a medida que aumenta el periodo el coeficiente de agitación disminuye, lo que demuestra que el oleaje con menores frecuencias sufre mayores modificaciones de altura a medida que arriban a la costa.

Por otra parte, se calcula un coeficiente direccional el cual indica en qué dirección arriba en el punto de extracción.

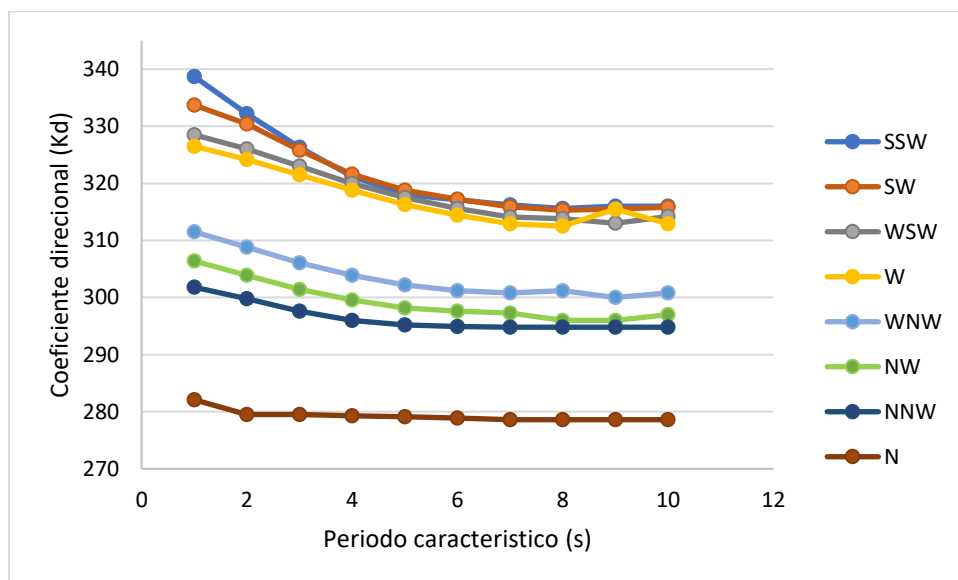


FIGURA 5.9 COEFICIENTE DIRECCIONAL (Kd). FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Debido a la configuración espacial de la zona de estudio, todas las direcciones convergen al noroeste gracias a la refracción que genera la Punta Ángeles en la bahía de Valparaíso.

5.2.3 CLIMA EN EL NODO N1

Debido a que el software utilizado no describe de manera certera el proceso de difracción (ver capítulo 3.2.5.1), se busca un nodo no muy protegido por Punta Ángeles, donde dominen los procesos de asomeramiento y refracción. A continuación, se presenta una imagen satelital (Figura 5.10) que muestra el nodo de extracción seleccionado cuya profundidad es aproximadamente -76 [m].

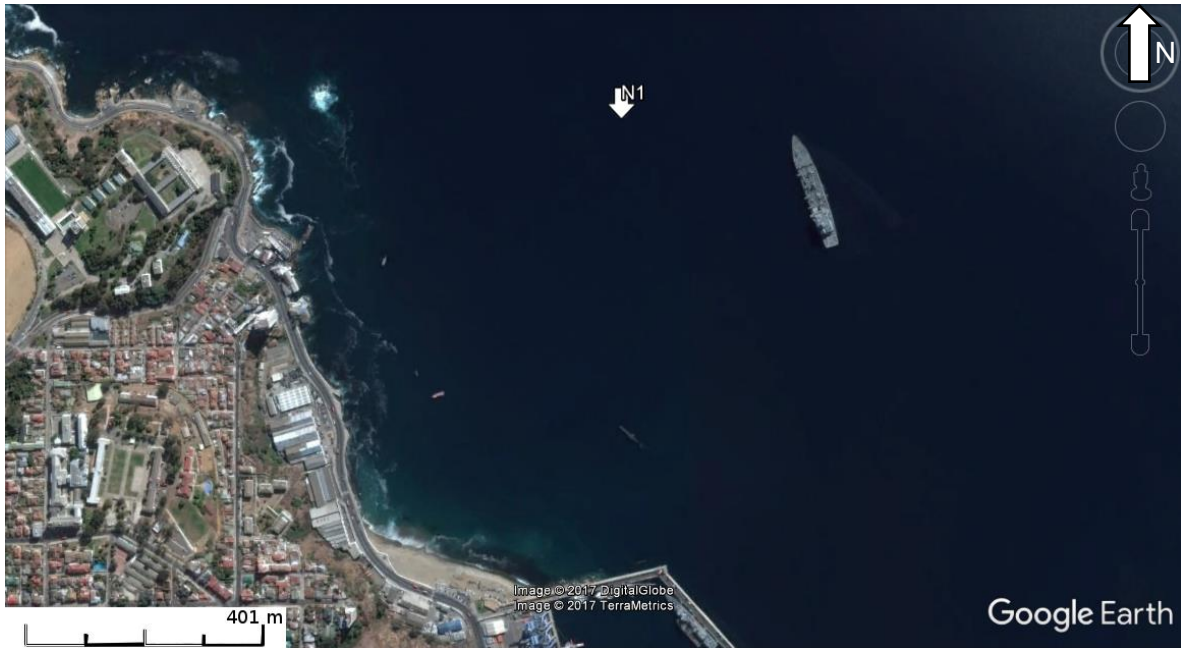


FIGURA 5.10 NODO DE EXTRACCIÓN DE COEFICIENTES DE AGITACIÓN TOTAL Y DIRECCIONAL. FUENTE: (GOOGLE, 2017).

5.2.3.1 CLIMA MEDIO EN N1

Una vez obtenidos los coeficientes de agitación total y coeficiente de dirección para cada combinación espectral, se procede a multiplicar cada coeficiente por el valor de altura de ola en AP, dando paso a una nueva data de oleaje, a la cual se le aplican los mismos ocho intervalos de dirección, sin embargo los intervalos de altura son diferentes debido a la transferencia espectral del oleaje, dando como resultado la siguiente tabla dinámica.

TABLA 5.5 INCIDENCIA DE ALTURAS VS. DIRECCIONES

	NNO	NO	ONO	Frec.
[0 - 0.5]	5.46%	82.62%	0.01%	88.09%
[0.5 - 1]	0.04%	10.19%	0.04%	10.27%
[1 - 1.5]		0.64%	0.10%	0.74%
[1.5 - 2]		0.35%	0.11%	0.46%
[2 - 2.5]		0.16%	0.13%	0.29%
[2.5 - 3]		0.03%	0.10%	0.13%
[3 - 3.5]			0.02%	0.02%
[3.5 - 4]			0.01%	0.01%
Frec.	5.51%	93.99%	0.51%	100.00%

Fuente: Elaboración propia.

Solo se presenta esta combinación de variables ya que el periodo se supone constante en la propagación espectral, siendo descrito y analizado anteriormente en el capítulo 5.2.1.

Cabe destacar que la altura reinante de oleaje asociada al clima operacional es de 0.5 [m] (con más de 88 % de probabilidades de ocurrencia) y la dirección con mayor incidencia es el NW (315°) concentrando más del 93% de la frecuencia.

5.2.3.2 CLIMA EXTREMO EN N1

Una vez realizada la propagación espectral se seleccionaron las mayores tormentas anuales en el sitio (ver valores seleccionados en Anexo C 6 Valores extremos de oleaje en N1), luego se aplica la metodología expuesta en el capítulo 4.2.2 “Análisis de largo plazo”. Dando como resultado la distribución de Weibull (K=2) con una correlación del 98% y bandas de confianza del 95% de confiabilidad, Tal como lo muestra el siguiente gráfico.

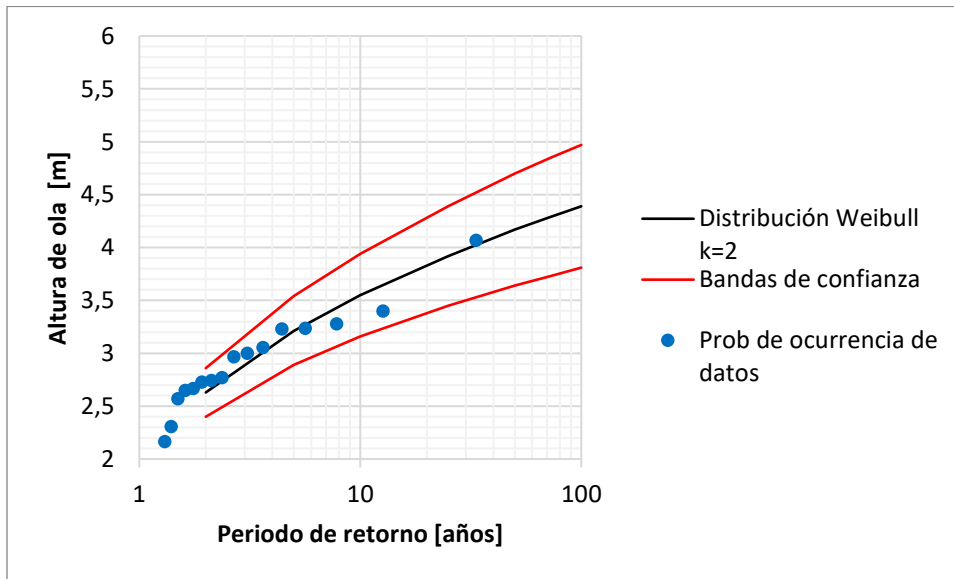


FIGURA 5.11 OLEAJE EXTREMO EN N1 FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Para apreciar de mejor manera los datos del gráfico, se presenta la tabla que muestra los valores de altura en cada periodo de retorno.

TABLA 5.6 PERIODOS DE RETORNO DE OLEAJE EXTREMO EN N1

Periodo de retorno [años]	Valor inferior de altura de ola [m]	Valor central De altura de ola [m]	Valor superior De altura de ola [m]
2	2.4	2.63	2.86
5	2.89	3.21	3.54
10	3.16	3.55	3.94
25	3.45	3.92	4.39
50	3.64	4.17	4.7
73	3.73	4.29	4.85
100	3.81	4.39	4.97

Fuente: Elaboración propia.

5.3 CARACTERIZACIÓN DE LAS MAREAS

Para estimar el comportamiento del nivel del mar se utiliza una data de libre acceso que contempla 15 años corridos de medición con registros cada 1 minuto, que cubre desde el primero de enero de 2002 hasta el 31 del 12 de 2016, con un total de 131495 datos. Las mediciones fueron registradas y validadas por el mareógrafo propiedad del SHOA, ubicado en las inmediaciones del Puerto de Valparaíso, específicamente en el molo de abrigo, muy cerca de la zona en cuestión. Dicho instrumento se encuentra conectado a una red global administrada por la Intergovernmental Oceanographic Commission (IOC), perteneciente a la UNESCO, la cual amacena y distribuye la información.

5.3.1 NIVEL DE MAREA ASTRONÓMICA

Para la obtención de la marea astronómica, a la serie descrita en el capítulo 5.3, se le realiza un análisis armónico, utilizando la metodología expuesta en el capítulo 4.3.1.1. Se obtiene una serie cuya confiabilidad es de un 89%. Los términos armónicos más representativos (constituyentes armónicas) se presentan en Figura 5.12, donde se visualiza la influencia de cada constituyente.

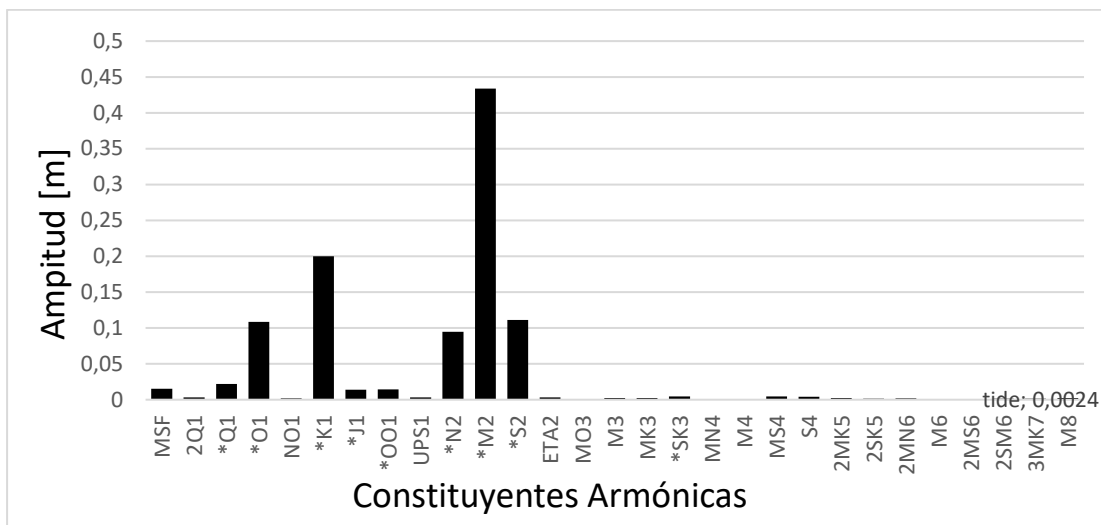


FIGURA 5.12: HISTOGRAMA DE AMPLITUDES. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Se estima un rango de marea de 1.02 [m] conforme a la suma de todas las constituyentes armónicas. Las cinco constituyentes más influyentes se describen en la siguiente tabla:

TABLA 5.7 PRINCIPALES CONSTITUYENTES ARMÓNICAS

Denominación	Constituyente	Característica
O1	Principal Lunar	Diurna
K1	Lunisolar	
N2	Lunar elíptico	Semidiurno
M2	Principal Lunar	
S2	Principal Solar	

Fuente: Elaboración propia.

Como la constituyente más influyente es la Principal Lunar, se demuestra que el régimen de marea es del tipo semi-diurno.

Considerando las constituyentes más importantes, se estima un NRS de -0.92 [m] respecto al nivel medio con la fórmula:

$$NRS = NM - (O1 + K1 + N2 + M2 + S2) = -0.92 [m]$$

5.3.2 NIVEL DE MAREA METEOROLÓGICA

La influencia meteorológica se cuantifica con la misma data que la influencia astronómica. En primer lugar se realiza un análisis armónico con la metodología expuesta anteriormente (ver serie roja de la Figura 5.13), luego a dicha serie armónica se le resta la medición registrada por el mareógrafo (ver serie azul de la Figura 5.13) logrando un residuo (ver serie negra presente en la Figura 5.13) que se interpreta como la componente meteorológica de la marea, influenciada por las forzantes de presión atmosférica, viento, oleaje y otros factores.

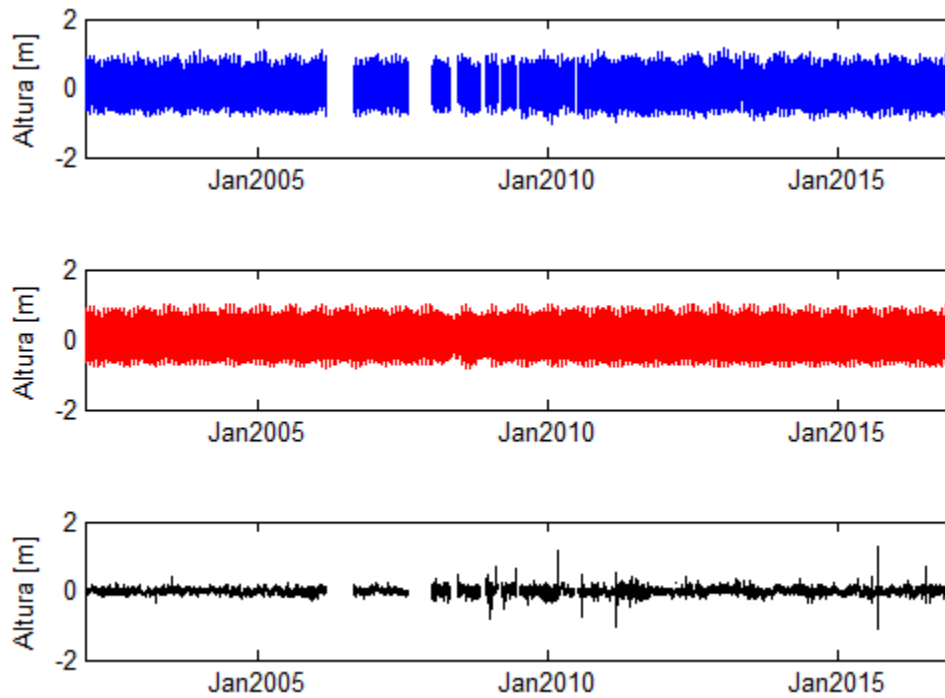


FIGURA 5.13: MAREA METEOROLÓGICA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA, CON DATOS (IOC, 2017).

Se muestra en la Figura 5.13 que la influencia meteorológica en Valparaíso supera el par de centímetros en la mayor parte del tiempo. Sin embargo, con el arribo de frentes de mal tiempo y tormentas se logra una diferencia importante mayor a 0.5 [m] entre la marea astronómica y la registrada en muchos casos.

Con el fin de estimar un desnivel a lo largo de la vida útil del proyecto se realiza un análisis de largo plazo a la serie de residuo meteorológico cuyos valores extremos son los que superan el umbral de 0.53 [m] de desnivel por marea meteorológica (ver datos extremos seleccionados en Anexo C 7).

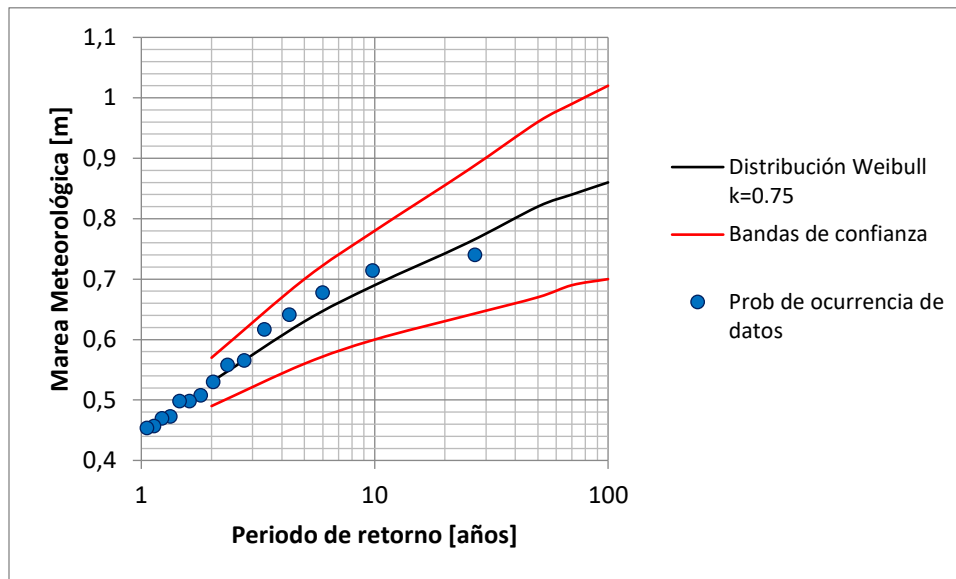


FIGURA 5.14 MAREA METEOROLÓGICA EXTREMA FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON DATO DE (IOC, 2017)

La distribución de Weibull $k=0.75$ tiene un porcentaje de correlación del 97% y las bandas de confianza se realizan con un 95% de confiabilidad. A continuación, se presenta una tabla con los valores de la Figura 5.13.

TABLA 5.8 MAREA METEOROLÓGICA EXTREMA

Periodo de retorno [años]	Valor inferior de altura de ola [m]	Valor central De altura de ola [m]	Valor superior De altura de ola [m]
2	0.49	0.53	0.57
5	0.56	0.63	0.7
10	0.6	0.69	0.78
25	0.64	0.76	0.88
50	0.67	0.82	0.96
73	0.69	0.84	0.99
100	0.7	0.86	1.02

Fuente: elaboración propia

5.4 CARACTERIZACIÓN DE LAS CORRIENTES.

Considerando que en los escenarios (ver capítulo 0 Propuestas de alternativas) no se modificará el litoral con playas artificiales, solo se considera los efectos de socavación producidos por el transporte sedimentario cuya forzante es la corriente costera de la deriva litoral. Se hace necesario definir hasta que cota el fondo marino es susceptible a cambios.

5.4.1 CORRIENTE POR OLEAJE

Del estudio de la corriente por oleaje capaz de transportar sedimentos se extrae la cota batimétrica de cierre (desde aguas profundas, lugar donde comienza el transporte

transversal) y la profundidad activa (cota donde el transporte longitudinal es intenso y el transporte transversal es mínimo).

Conforme a la metodología expuesta en el capítulo 4.4, utilizando las ecuaciones 4.9 y 4.10 respectivamente, se exponen los resultados del análisis transversal la siguiente tabla:

TABLA 5.9 INFLUENCIA DEL TRANSPORTE TRASVERSAL

Profundidad de cierre	Profundidad activa
15 [m]	7.25 [m]

Fuente: Elaboración propia.

La mayor altura de ola esperada (oleaje de diseño) es una variable sensible para la determinación de la profundidad de cierre y el oleaje con mayor probabilidad de ocurrencia es una variable sensible para la estimación profundidad activa.

5.5 CARACTERIZACIÓN DEL VALOR ACTUAL

El valor es el factor de comparación de cada escenario y el instrumento discriminador en la selección de alternativas. Utilizando la metodología de valorización costera de Álvaro Viveros (2016) expuesta en el Capítulo 3.5.2, se estima que la zona que comprende la playa San Mateo y el estacionamiento que utiliza hoy la Armada de Chile, tiene un valor ambiental de 3.3, un valor económico de 3.2 y un valor urbano-sociocultural es de 4.8 por lo que la magnitud de vector valor para la zona a estudiar es de 6.6 unidades de valor.

TABLA 5.10 DESCOMPOSICIÓN DEL VALOR ACTUAL

Componente del valor	Subcomponente	Magnitud	Justificación	Magnitud promedio
Valor ambiental	Hábitats costeros	3	Paisaje intervenido, daños reparables	3.3
	Atractivo escénico	4	Acceso completo al mar	
	Áreas verdes	3	Acceso público	
Valor económico	Uso de suelo	3	Acceso vial regular, inmerso en centro urbano	3.2
	Oferta inmobiliaria	3	Regular interés comercial (concesión de playa)	
	Tipo de vecindario	3	Intervención policial intermitente (policía marítima)	
	Densidad contractiva	3	Media, con recolección de basura esporádicamente	
	Facilidades contractivas	4	Acceso a red sanitaria y a servicios de agua potable y electricidad	
Valor urbano-Sociocultural	Red vial o conectividad	5	Vías peatonales seguras	4.8
	Transporte público	4	Cobertura a diferentes rutas y zonas urbanas	
	Equipamiento urbano	5	Urbanización estándar	
	Infraestructura de uso público	5	Zona de recreación	
Valor Vectorial	6.6			

Fuente: Elaboración propia.

6 CRITERIOS DE DISEÑO

Utilizando la información proporcionada por los estudios de condiciones naturales (Capítulo 5 “*Caracterización del medio físico*”) y un análisis de requerimientos externos se definen los criterios de diseño, los cuales contemplan las bases de diseño y las condiciones ambientales de diseños.

6.1 BASES DE DISEÑO

Se presenta una tabla con el resultado de la definición de bases de diseño mediante la información expuesta en el capítulo 3.5.2 “*Bases de diseño*”.

TABLA 6.1 BASES DE DISEÑO

Base de diseño	Valor	Justificación
Vida útil	25 [años]	Infraestructura de interés general (Ligado a un carácter integral)
Riesgo	0.3	Se considera una probabilidad media de pérdidas humanas, adoptando un riesgo de iniciación de averías leves.
Periodo de retorno	70 [años]	Debido a que la vida útil es 25 años y el riesgo 0.3, se estima el periodo de retorno equivalente a 70 años.
Valor actual	6.6	Conforme con los objetivos generales, se buscar aumentar el vector valor de la zona

Fuente: Elaboración propia.

6.1.1 VALOR ACTUAL

Conforme a la aplicación de la metodología de valorización expuesta en el capítulo 5.5 “*Caracterización del valor actual*”, la zona de playa San Mateo y el estacionamiento de la Armada de Chile, tienen un valor ambiental de 3.3, un valor económico de 3.2 y un valor urbano-sociocultural de 4.8, siendo la magnitud de vector valor para la zona a estudiar de 6.6 unidades de valor.

6.2 CONDICIONANTES DE DISEÑO

Las condicionantes son las relacionadas con el medioambiente.

6.2.1 RESISTENCIA Y CALIDAD DEL SUELO DE FUNDACIÓN

Conforme a la caracterización granulométrica del suelo (ver 5.1.1) La zona de fundación está compuesta en su mayor parte por Grava fina (38.27% de la muestra) y por arena muy gruesa (23.83%) por lo que el diámetro característico nominal del 50% para la playa es de 1.43 [mm] con clasificación de Grava fina con carácter de suelta o poco densa.

6.2.2 OLEAJE DE DISEÑO

A partir del análisis de oleaje (ver capítulo 5.2), el cual está basado en la normativa vigente publicada por SHOA (2005), se determina el clima operacional y extremo de oleaje en el sitio de interés. A continuación, se presenta las variables de diseño (ver tabla 6.2).

TABLA 6.2 OLEAJE DE DISEÑO EN EL SITIO

Oleaje Operacional		Oleaje Extremo	
Dirección	NW (315°)	Dirección	WNW (292.5°)
Altura	0.5 [m]	Altura	4.85 [m]
Periodo	14 [s]	Periodo	10 [s]

Fuente: Elaboración propia.

Una vez realizada la propagación al punto de aguas intermedias, se transfiere el oleaje al pie de la obra conforme a la ecuación 4.6 presente en el capítulo 4.2.3 “*Oleaje al pie de la obra*”.

TABLA 6.3 OLEAJE DE DISEÑO AL PIE DE LA OBRA

Dirección	WNW (292.5°)
Altura	4.31 [m]
Periodo	10 [s]

Fuente: Elaboración propia.

6.2.3 NIVEL DE DISEÑO

De acuerdo al estudio de caracterización de las mareas (ver capítulo 5.3 “*Caracterización de las mareas*”) en el cual se utiliza la metodología expuesta en el capítulo 4.3 “*Análisis para la onda de marea*”, se presenta la tabla 6.4 donde se exponen los componentes del nivel de diseño respecto al nivel medio del mar.

TABLA 6.4 NIVEL DE DISEÑO

Componente del nivel de diseño	Valor [m]
Nivel de reducción de sonda	0.92
Marea astronómica	1.02
Marea Meteorológica	0.99
Nivel de diseño	2.93

Fuente: Elaboración propia.

7 PROPUESTAS DE ALTERNATIVAS

Ambas alternativas se rigen con los mismos criterios de diseño, por lo que cada una tiene que responder a un interés general y un carácter integral siguiendo las bases de diseño y ambas deben resistir las condicionantes naturales de diseño descritas en el capítulo anterior. Cabe mencionar todas las soluciones deben perpetuar el museo nacional Batería Esmeralda.

7.1 ESCENARIO 1

Un escenario donde la componente del valor más importante es el valor económico, el cual se define en el ámbito territorial como una zona de desarrollo comercial promovido por una oferta inmobiliaria o industrial, en el marco de la expansión portuaria que pretende realizar la Empresa Portuaria de Valparaíso (EPV) mencionada en su plan maestro.

Se presenta al sector de playa San Mateo y estacionamientos de la Armada de Chile (excluido el fuerte Esmeralda) como una zona de explotación portuaria a través de un patio de contenedores que permita agilizar el proceso logístico que hoy realiza la empresa ZEAL Ltda. con el fin de incrementar el desarrollo económico del puerto local y apoyar logísticamente el arribo de la demanda esperada una vez construido el Terminal 2 de la ccesionaria TCVAl Ltda. siendo una iniciativa de carácter integral.

Se diseñan estructuralmente las obras de protección costera que consideran un muro gravitacional de escollera y un pie de protección a la socavación, no se incluye el diseño estructural del pavimento portuario ni el diseño operacional del patio de contenedores.

A continuación, se realiza un análisis F.O.D.A de la alternativa de solución en el marco de un escenario industrial donde la componente del valor con mayor importancia es la componente económica.

TABLA 7.1 ANÁLISIS F.O.D.A. ALTERNATIVA 1

Fortalezas	Brinda una zona logística de almacenamiento extraportuario de carga contenedorizada colindante a los terminales del puerto de la ciudad y al próximo Puerto de Gran Escala que se implementará en la zona de Yolanda, contribuye a la una ampliación de la oferta de patio de contenedores, fortaleciendo así el rendimiento del puerto local.
Oportunidades	Cabida en el mercado a empresas que ejerzan los servicios de almacén extraportuario, depósito de carga y servicios a la carga. Brinda al puerto, un potencial de crecimiento en el mediano plazo incrementando la transferencia de contenedores.
Amenazas	La ciudadanía podría desaprobado el proyecto en la fase de consulta ciudadana, ya que se estaría suprimiendo una de las siete playas con las que hoy cuenta la comuna de Valparaíso. Al estar colindante con centros de la Armada de Chile, la zona podría ser solicitada como zona de ejercicio militar.
Debilidades	La playa San Mateo no existirá como se conoce hoy debido a que será una zona costera de uso industrial. El proyecto provocará problemas ambientales debido la reducción de comunidades bióticas y de su nicho biológico, Además de la contaminación colateral a la construcción, debido al suministro de rocas de alto tonelaje y la intervención antropológica en el sector.

Fuente: elaboración propia

7.1.1 CONFIGURACIÓN EN PLANTA

A continuación, se presenta un plano de la configuración en planta de la obra proyectada, donde de color cian se muestra la escollera de protección costera y es color magenta la explanada de operación.

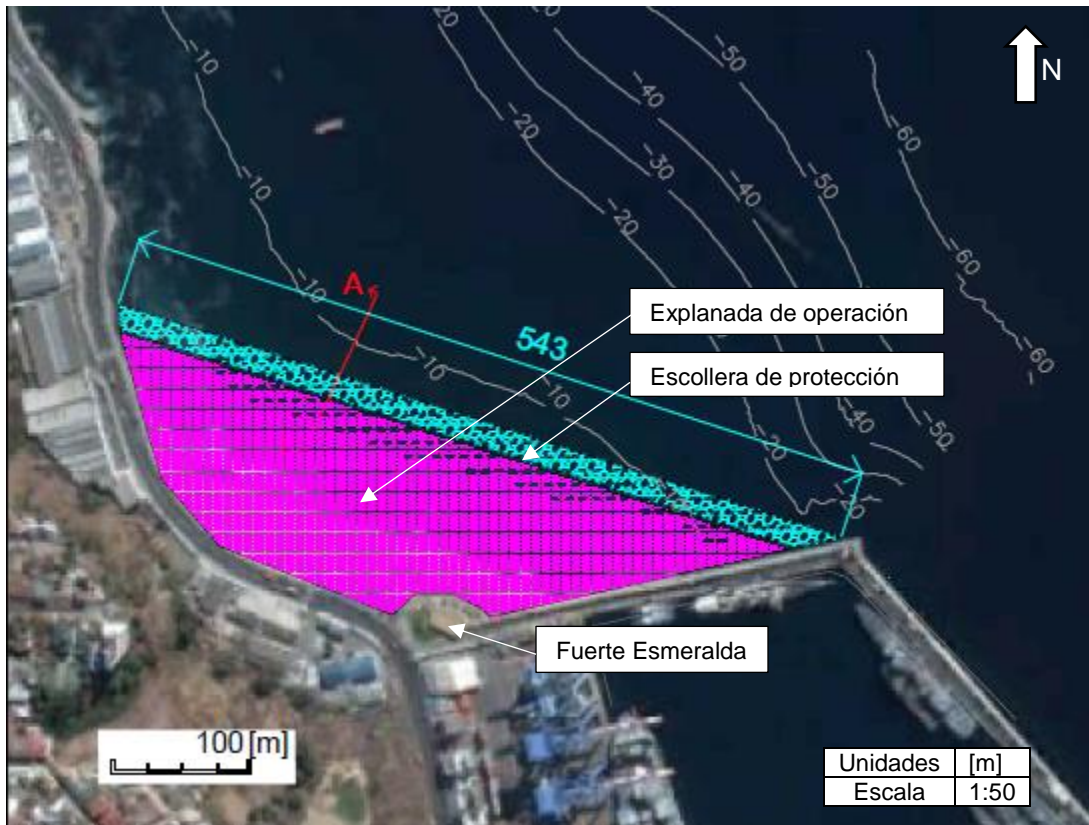


FIGURA 7.1 PLANO EN PLANTA DE ALTERNATIVA 1. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON DATOS DE (GOOGLE, 2017).

7.1.2 DISEÑO HIDRÁULICO

El diseño hidráulico obedece a la condición más desfavorable relacionada con el fallo estructural de la obra de protección costera.

7.1.2.1 COTA DE CORONAMIENTO

Considerando el área de interés como zona de explotación portuaria con tránsito continuo de vehículos y peatones, además de la existencia de contenedores asociados a la operación, se fija un caudal admisible máximo de sobrepaso $0.05 \text{ [m}^3/\text{s]}$ por metro lineal de muro de escollera Anexo D 1, Según recomendaciones internacionales (USACE, 2002).

Utilizando la ecuación propuesta por Owen (1982) válida para taludes de enrocados (Ec.4.11) se estima por medio de un proceso iterativo una cota de coronamiento de 4.9

[m] con respecto al nivel de diseño, con dos capas de rocas de cantera con densidad 2.6 [T/m³]. Las variables utilizadas son las siguientes:

TABLA 7.2 VARIABLES UTILIZADAS EN EC.4.11

Nombre	Valor	Unidad
Nivel de diseño	2.93	[m]
Altura de diseño	4.3	[m]
Periodo de diseño	10	[s]
Pendiente de coraza	1:3	[H:V]

Fuente: Elaboración propia

Todas las variables fueron descritas en los capítulos 6.2.2 y 6.2.3

7.1.2.2 PESO DE ELEMENTOS DE CORAZA

Tomando en cuenta la formulación de base empírica de Hudson (1974) (Ec. 4.12) expuesta en el capítulo 4.5 “Metodología de diseño hidráulico”, cuyas variables son fueron obtenidas para el sitio conforme al capítulo 0 “Caracterización del medio físico”.

TABLA 7.3 VARIABLES UTILIZADAS EN EC. 4.12

Nombre	Valor	Unidad
Nivel de diseño	2.93	[m]
Altura de diseño	4.31	[m]
Periodo de diseño	10	[s]
Pendiente de coraza	1:3	[V:H]
Profundidad al pie	7.25	[m]

Fuente: Elaboración propia

Mediante un proceso iterativo se estima un diámetro característico de elemento de coraza de 1.27 [m] con un peso de 5.4 [T], considerando que la ola de diseño no es limitada por profundidad, es decir rompe en el frontis del muro y adoptado un coeficiente empírico de Hudson (K_D) de 3.5, admitiendo 5% de daño antes de la falla.

A partir de los elementos de coraza se obtiene los pesos de los filtros primarios, secundarios y elementos de núcleo. A continuación, se presenta una tabla con el diámetro y peso de cada elemento.

TABLA 7.4 PESO DE ELEMENTOS DE MURO DE ESCOLLERA

Parte de muro	D_{n50} [m]	M_{n50} [kg]	Consideraciones
Manto superior	1.27	5426	Se aplican dos capas lanzadas aleatoriamente Se instalan las rocas más pequeñas cerca del núcleo y las mayores, cerca de la coraza
Filtro primario	0.59	542	
Filtro secundario	0.51	361	material de permeabilidad baja y alta coerción
Núcleo	0.21	27	

Fuente: Elaboración propia.

7.1.2.3 PIE DE APOYO

Considerando que el lecho marino está compuesto del mismo material que se compone la playa (ver 5.1.1 “Granulometría del suelo”), se incorpora un pie de apoyo con el fin de evitar socavación local en el pie de la escollera y su consecuente falla.

Dicho pie se calcula con la ecuación 4.16 (ver 4.5 “Metodología de diseño hidráulico”) cuyas variables son descritas en el capítulo 0:

TABLA 7.5 VARIABLES UTILIZADAS EN EC. 4.16

Nombre	Valor	Unidad
Nivel mínimo	0	[m]
Altura de diseño	4.3	[m]
Periodo de diseño	10	[s]

Fuente: Elaboración propia

dando como resultado elementos de la coraza del pie de 1 [m] de diámetro característico y 3009 [kg] de peso.

7.1.3 SECCIÓN TRANSVERSAL

A continuación, se presenta un plano de la sección tipo de la alternativa del escenario industrial señalada en como el corte A en el plano.

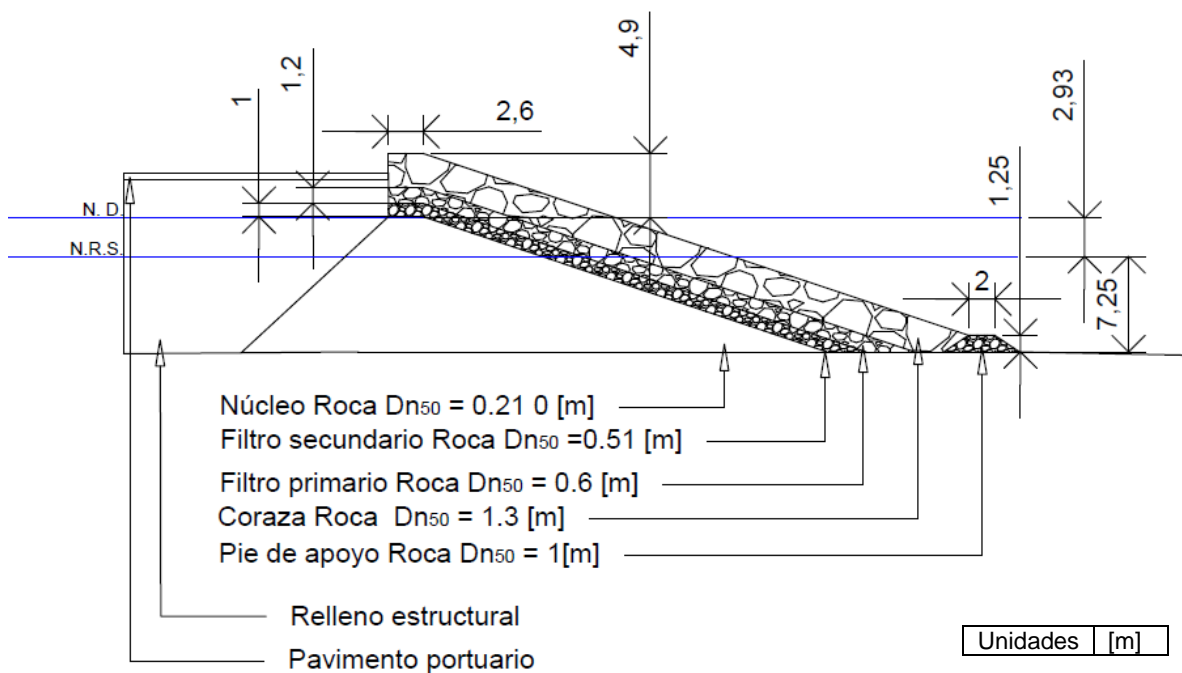


FIGURA 7.2 PLANO PERFIL DE ESCOLLERA FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

7.1.4 CUBICACIONES

El largo de la escollera es de 543 [m] y el área de operación de la explanada es de 43.266 [m²]. Utilizando los planos realizados (configuración en planta y sección transversal) se presentan las cantidades de material en cada partida.

TABLA 7.6 CUBICACIÓN ESCENARIO INDUSTRIAL

Partidas	Sub-Partidas	Cantidad	Unidad
Escollera de protección	Suministro de rocas núcleo	131360	[m ³]
	Suministro de rocas filtro secundario	18896	[m ³]
	Suministro de rocas filtro primario	25162	[m ³]
	Suministro de rocas de coraza	60300	[m ³]
	Suministro de rocas de pie	2671	[m ³]
Obras de relleno	Relleno estructural	281229	[m ³]
	Pavimento portuario	21633	[m ²]

Fuente: elaboración propia

7.2 ESCENARIO 2

Es un escenario donde la componente del valor más importante es el valor urbano-sociocultural, por ende, se diseña una infraestructura de uso público que fomente el desarrollo social, consolidando esta zona como “playa el deporte de Valparaíso”, un lugar a disposición de la ciudadanía en general, con amplias áreas verdes de recreación y una pista de ciclismo de aproximadamente 500 [m] continuos, complementada con una vista privilegiada al mar y a la bahía.

El diseño estructural es el de un muro costero de contención, del tipo cantiléver compuesto de hormigón armado, no se diseñará estructuralmente la calzada de la ciclovía ni el diseño paisajístico de las áreas verdes proyectadas en la zona de uso público mencionada. Para comprender el proyecto.

se realiza un análisis FODA donde los factores de origen interno son las debilidades y fortaleza, y de origen externo son las amenazas y oportunidades.

TABLA 7.7 ANÁLISIS F.O.D.A. ALTERNATIVA 2.

Fortalezas	Conserva la playa y el espacio territorial costero actual, además fomenta el uso público de espacios lúdicos de esparcimiento en el litoral e incentiva el deporte en la ciudadanía. No interviene la deriva litoral ni el transporte sedimentario de la playa.
Oportunidades	Cabida en el mercado a pequeños emprendimientos de quiscos. Consolida la zona como la playa del deporte de Valparaíso. Al no ser intervenida la playa, esta podrá seguir siendo usada por la Armada de Chile como zona de ejercicio militar.
Amenazas	La zona portuaria adyacente podría necesitar una zona de explotación extraportuaria (debido a su proyección de demanda publicada). Además, al ser de uso público está susceptible a pérdidas humanas en el caso de falla estructural debido a tsunamis u otros eventos no considerados en el diseño.
Debilidades	La ciclovía tendrá forma de pista de ciclismo y no contempla una red de ciclovías de largo alcance.

Fuente: elaboración propia

7.2.1 CONFIGURACIÓN EN PLANTA

A continuación, se presenta un plano de la vista en planta del diseño de la obra de recreación en el marco de un escenario social donde la componente más desarrollada del valor es la urbano-sociocultural, de color verde se muestran las zonas asignadas a áreas verdes con mantención, y de color negro se muestra la pista de ciclismo proyectada.



FIGURA 7.3 PLANO EN PLANTA DE ALTERNATIVA 2. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON DATOS DE (GOOGLE, 2017).

Considerando que la zona Oeste del sitio de interés está a escasos metros de la línea de costa, susceptible a socavación local, se diseña según la condición más desfavorable.

A continuación, se muestran los parámetros geotécnicos de diseño donde serán emplazadas las obras los cuales describen el comportamiento general del suelo.

7.2.2 DISEÑO ESTRUCTURAL

Este diseño está enfocado al muro de contención que sostiene la ciclovía y áreas verdes proyectadas en esta alternativa.

El muro tendrá que resistir la peor condición a lo largo de todo el tramo, se realizan una propuesta de diseño de un muro cantiléver de contención: uno cuya fundación repose sobre el terreno ya socavado, compuesto de una mezcla de grava y arenas; tal como se observa en el plano.

A continuación, se presenta una descripción del suelo de fundación, donde por medio del Código Técnico de Edificación Español (CTE, 2017) se determina una capacidad portante máxima del suelo (ver Anexo D 2) y su ángulo de fricción interno.

TABLA 7.8 PARÁMETROS DE DISEÑO DEL SUELO DE RELLENO Y FUNDACIÓN

símbolo	Cantidad	unidad	Descripción
γ_s	2.0	[T/m ³]	Peso unitario del suelo de relleno
Φ_s	40	[°]	Ángulo de fricción interna suelo relleno
Φ_f	30	[°]	Ángulo de fricción interna suelo fundación
σ_f	2.1	[kgf/cm ²]	Presión admisible suelo de fundación
Tg μ	0.36	[2/3 Φ]	Coeficiente de roce fundación
A_0/g	0.4	-	Coeficiente de aceleración sísmica
δ_A	0.23	[rad]	Ángulo de fricción suelo-muro

Fuente: (CTE, 2017)

Cabe destacar que el ángulo de fricción suelo-muro es directamente dependiente ángulo de fricción interna del suelo de relleno.

7.2.2.1 COTA DE CORONAMIENTO

Este requerimiento es aplicable a los dos muros. Siguiendo lo establecido en la norma chilena “Manual de Carreteras” y con el fin de realizar una ciclovía y espacios de esparcimiento adecuados, se fija la cota de coronamiento del muro 0.3 [m] sobre la cota de la calzada de la Av. Altamirano, generando un espacio urbano de uso público como continuación de la avenida Altamirano.

De acuerdo con las mediciones de campo, la cota de coronamiento de la calzada de la avenida Altamirano es de 3.7 [m] sobre el nivel de la playa (arena) cuya cota es de 1.7 [m] sobre el nivel medio del mar, por lo que el muro tiene que ser de 4 [m] de altura utilizable.

7.2.2.2 SOCAVACIÓN

Con el fin de estimar una altura de socavación máxima se utiliza la fórmula de Fowler (1992) (Ec. 29) presente en el capítulo 4.5.2.6 cuyas variables principales son los parámetros del oleaje de diseño (ver 6.2.2).

Se estima una socavación máxima de 2.17 [m] respecto al nivel de arena actual.

7.2.2.3 EMPUJES PERCIBIDOS

Los empujes percibidos son únicamente de la acción gravitacional del terreno a contener. Debido a que el embate del oleaje contribuye a las cargas pasivas, se ve aumentada la resistencia del muro, por otro lado, se considera la peor condición, es decir un suelo totalmente erosionado gracias al proceso de socavación costera, de manera conservadora no se consideran presiones hidrodinámicas ni pasiva.

Conforme a la metodología y formulación expuesta en el capítulo 4.5.2 (Muros Costeros de Contención), luego de un proceso iterativo se estiman los siguientes empujes (Tabla 7.9), los cuales afectan al muro cantiléver en cuestión, incluida la fuerza de roce producida, acompañada de un diagrama de cuerpo libre que indica la posición de las fuera resultante (Figura 7.4).

TABLA 7.9 EMPUJES PERCIBIDOS POR EL MURO CANTILÉVER

Simbología	Cantidad	Unidad	Descripción
Fr	27.18	[T/m]	Fuerza de roce
Eq	2.03	[T/m]	Empuje debido a la sobrecarga total
Ea	7.52	[T/m]	Empuje activo de suelo
Eh	1.8	[T/m]	Empuje hidrostático
Eas	5.34	[T/m]	Empuje sísmico de suelo

Fuente: Elaboración propia

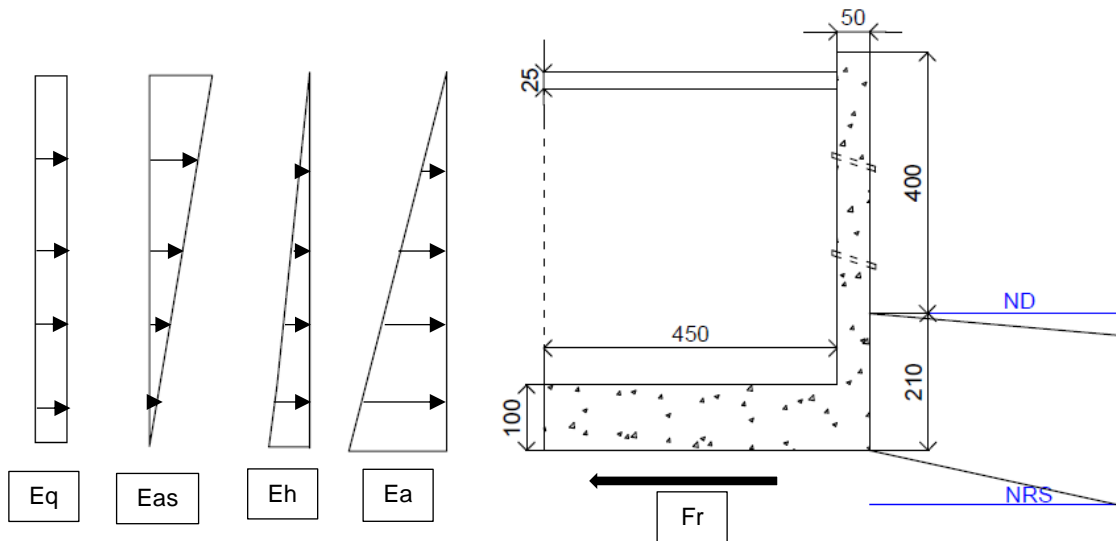


FIGURA 7.4 DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Una vez determinado los empujes se realiza la sumatoria de fuerzas horizontales, donde los empujes deslizantes son la suma de los empujes activo, sísmico, sobrecarga e hidrostático. El único empuje resistente es la fuera de roce que ejerce el muro sobre el suelo de fundación. A continuación, se presenta una tabla con el resumen de las fuerzas deslizantes y resistentes.

TABLA 7.10 RESUMEN DE FUERZAS DESLIZANTES Y RESISTENTES

Simbología	Valor	Unidad	Descripción
V_{AC}	11.43	[T/m]	Empuje deslizante
V_{SIS}	5.34	[T/m]	Empuje sísmico
V_{RES}	27.18	[T/m]	Empuje resistente

Fuente: Elaboración propia

Una vez determinado los empujes, se multiplican por el brazo de aplicación de cada uno, conforme a la metodología presentada en el capítulo 4.5.2, dando como resultado la siguiente tabla de momentos.

TABLA 7.11 RESUMEN DE MOMENTOS VOLCANTES Y RESISTENTES

Simbología	Valor	Unidad	Descripción
M_{AC}	21.48	[Tm/m]	Momento activo
M_{SIS}	21.72	[Tm/m]	Momento sísmico
M_{RES}	67.95	[Tm/m]	Momento resistente

Fuente: Elaboración propia

7.2.2.4 **FACTORES DE SEGURIDAD**

Utilizando la información expuesta en el subcapítulo anterior se presentan los factores de seguridad al deslizamiento y volcamiento respectivamente.

TABLA 7.12 FACTOR DE SEGURIDAD

Factor de seguridad al deslizamiento	Factor de seguridad al volcamiento
$FS_D = \frac{V_{AC} + V_{SIS}}{V_{RES}} = 1.62 > 1.2$	$FS_v = \frac{M_{AC} + M_{SIS}}{M_{RES}} = 1.57 > 1.2$

Fuente: Elaboración propia

Una vez comprobada que las cargas son menores a la resistencia, se establece la presión admisible de fundación. Mediante las dimensiones se obtiene el peso del muro (ver Figura 7.4 Diagrama de cuerpo libre. Fuente: elaboración propia) y mediante los parámetros del suelo de fundación se obtiene la presión admisible (ver Tabla 7.8 Parámetros de diseño del suelo de relleno y fundación)

TABLA 7.13 COMPROBACIÓN DE PRESIONES ADMISIBLES

Simbología	Valor	Unidad	Descripción
W_{tm}	74.68	[T]	Peso total del muro (incluyendo suelo a contener)
σ_{est}	1.49	[kgf/cm ²]	Presión estática media
σ_{adm}	2.10	[kgf/cm ²]	Presión admisible del suelo de fundación

Fuente: Elaboración propia

7.2.2.5 **ÁREA REQUERIDA DE ACERO**

Conforme a la metodología expuesta en el capítulo 4.5.2.5 “Cuantía de acero” se estima un área requerida de acero de 27.08 [cm²] por metro lineal. Se recomienda utilizar 9 barras de 20 [mm] de presión (9@20).

7.2.3 SECCIÓN TRANSVERSAL

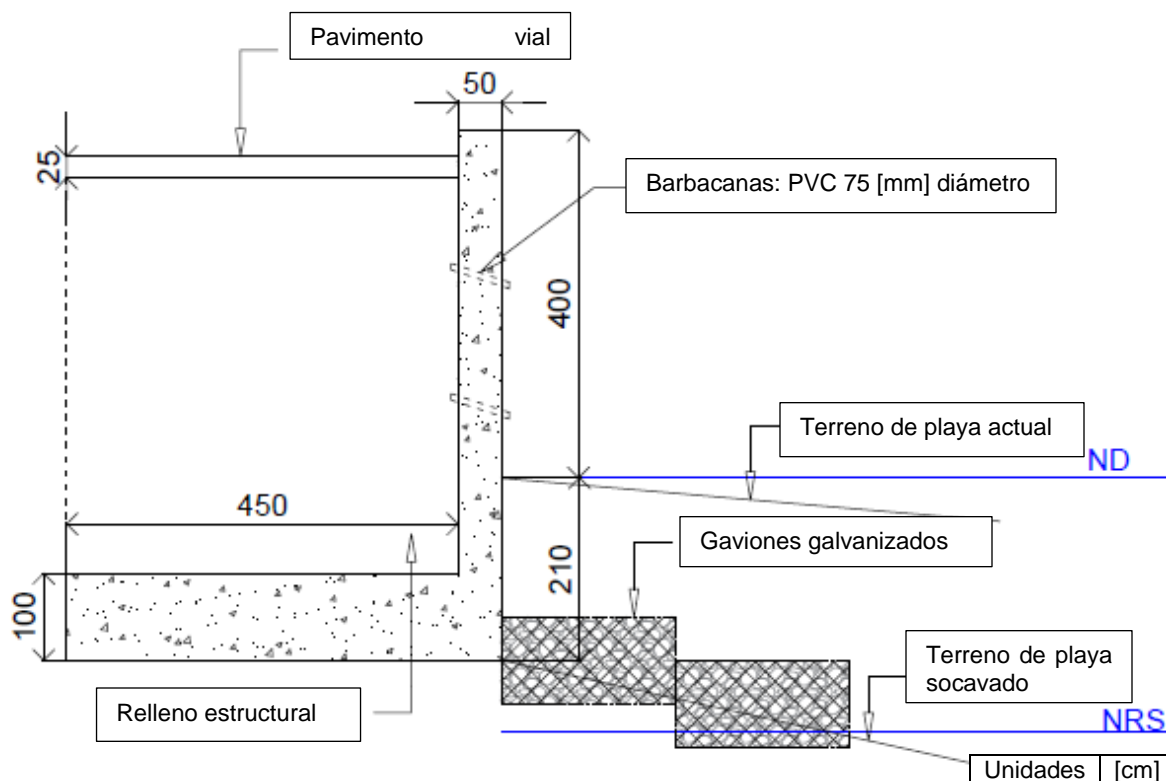


FIGURA 7.5 PLANO EN PERFIL DE SECCIÓN DE MURO CANTILÉVER. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Cabe mencionar que de manera adicional se incorporan dos gaviones galvanizados por metro lineal con el fin reforzar la resistencia a la socavación, conforme a la oferta en el mercado nacional se presenta en el Anexo D 8 las características y dimensiones de éstos según INCHALAM (2018).

7.2.4 CUBICACIONES

A continuación, se presenta una tabla con las cubicaciones, que indica la cantidad de materiales necesarios para la elaboración del proyecto incluyendo áreas.

TABLA 7.14 CUBICACIONES ESCENARIO SOCIAL MURO A

Partidas	Sub-Partidas	Cantidad	Unidad
Muro de contención	Hormigón H30	1706	[m ³]
	Acero	0.678	[m ³]
Obras de relleno	Relleno estructural	11851	[m ³]
	Ciclovia	326.37	[m ³]
A.V.	Áreas verdes	1873.26	[m ²]
Gaviones	Gaviones galvanizados	908	[m ³]

Fuente: Elaboración propia

8 SELECCIÓN DE ALTERNATIVA

Utilizando la metodología de valorización costera de Viveros (2016) (ver capítulo 4.1 “Metodología de valorización costera”) se calcula para cada escenario el valor de la zona, considerando la obra ya realizada, con el fin de comparar y definir qué propuesta aumenta en mayor medida el valor de la actual playa San Mateo. Se obtiene para el escenario industrial un valor de 6.8, aumentando en 0.2 unidades respecto al valor actual de 6.6. Para el escenario social se estima un valor de 7.65 aumentando en 1.05 el valor actual, siendo la opción seleccionada. A continuación, se presenta la justificación de asignación de valor para cada componente.

8.1 VALOR DEL TERRITORIO EN ESCENARIO 1

TABLA 8.1 VALOR DE ALTERNATIVA 1

Componente del valor	Subcomponente	Magnitud	Justificación	Magnitud promedio
Valor ambiental	Hábitats costeros	3	Paisaje intervenido, daños reparables	1.6
	Atractivo escénico	1	Propiedad industrial	
	Áreas verdes	1	Sin acceso público	
Valor económico	Uso de suelo	5	Presencia de actividad industrial	5
	oferta inmobiliaria	5	Unidad productiva en reconversión	
	Tipo de vecindario	5	Seguridad urbana	
	Densidad contractiva	5	Baja, recolección permanente	
	facilidades constructivas	5	Acceso a red sanitaria. a servicios de agua potable, electricidad y gas	
Valor urbano-Sociocultural	Red vial o conectividad	5	Acceso vial regular	4
	Transporte público	5	Cobertura a diferentes rutas y zonas urbanas	
	Equipamiento urbano	5	Urbanización complementaria (wifi, gas)	
	Infraestructura de uso público	1	inexistente	
Valor total	7.2			

Fuente: Elaboración propia, con información de (Viveros, 2016)

8.2 VALOR DEL TERRITORIO EN UN ESCENARIO 2

TABLA 8.2 VALOR DE ALTERNATIVA 2

Componente del valor	Subcomponente	Magnitud	Justificación	Magnitud promedio
Valor ambiental	Hábitats costeros	4	Intervención menor	4.6
	Atractivo escénico	5	Vista completa al mar	
	Áreas verdes	5	Mantenimiento municipal y ciudadana de diseño de jardines	
Valor económico	Uso de suelo	3	Acceso vial regular	4
	oferta inmobiliaria	3	Regular interés comercial	
	Tipo de vecindario	5	Seguridad urbana	
	Densidad constructiva	4	Media baja, recolección intermedia de basura	
	facilidades contractivas	4	Acceso a red sanitaria y a servicios de agua potable y electricidad	
Valor urbano-Sociocultural	Red vial o conectividad	5	Vías peatonales seguras	4.8
	Transporte público	4	Cobertura a diferentes rutas y zonas urbanas	
	Equipamiento urbano	5	Urbanización complementaria (wifi, gas)	
	Infraestructura de uso público	5	Completo acceso publico	
Valor total	7.8			

Fuente: Elaboración propia, con información de (Viveros, 2016)

9 CONCLUSIONES

9.1 MARCO TEÓRICO Y METODOLOGÍA

Respecto a la revisión bibliográfica presente en el marco teórico, es la exclusivamente necesaria para comprender: los fenómenos físicos que ejercen sollicitaciones estructurales a las obras costeras y las componentes del valor aplicadas a una zona multidimensional como la de San Mateo. La metodología es recopilada de diversos lugares; para estimar el valor se utiliza la metodología para la valorización multidimensional de la zona costera, caso Valparaíso (Viveros, 2016); para caracterizar las variables ambientales se utiliza la propuesta por el organismo competente (SHOA, 2005) y finalmente para el diseño hidráulico se revisa la guía para el diseño, construcción, operación y conservación de obras marítimas y costeras volúmenes 1 y 2 (DOP, 2013).

9.2 ZONA DE ESTUDIO

La zona de interés ha sido de gran importancia en el siglo pasado debido a su locación cercana al puerto local y a centros comerciales e industriales, sufriendo intervenciones continuas desde 1850. Su último cambio de valor lo realizó la I. Municipalidad de Valparaíso, convirtiendo el acantilado en una playa artificial hace más de 50 años. Sin embargo, hoy es una zona infravalorada respecto las zonas colindantes, debido a que sus cortos 180 [m] de playa de gravas no son aptos para el baño. Es por lo anterior que se hace necesario intervenir la zona con el fin de incrementar su valor actual de 6.6 unidades de valor.

9.3 CARACTERIZACIÓN DEL MEDIO

Debido a la configuración espacial del lugar, las condiciones naturales del sector estudiado presentan un oleaje reinante del noreste con altura de 0.5 [m] el 80% del tiempo y un oleaje dominante proveniente de la misma dirección con altura de entre 4 y 5 [m]. El régimen mareal es del tipo semidiurno con amplitud astronómica de 1.02 [m] y amplitud meteorológica de 0.99 [m]. Respecto a las corrientes, éstas comienzan a transportar sedimentos a los 15 metros de profundidad, por lo que los diseños son susceptibles a efectos de socavación.

9.4 DEFINICIÓN DE CRITERIOS DE DISEÑO

Una vez caracterizado el medio, se define las bases y condiciones de diseño iguales para ambos escenarios, con el objeto de aumentar el vector valor en la zona de estudio. Se adopta una vida útil de 25 años conforme a la duración promedio de los contratos de concesión marítima y un riesgo de 0.3 considerando posibilidad media de pérdidas humanas.

9.5 ESCENARIOS DE EXPLOTACIÓN

Considerando la proyección de la demanda esperada para el transporte marítimo en Valparaíso y la construcción de nuevos terminales portuarios, la zona costera en cuestión podría ser requerida como zona de explotación portuaria. Es por esto, que el escenario 1 de explotación proyecta una zona de apoyo logístico del proceso de transferencia de carga contenedorizada. Dicha zona no solo generará un área de acopio sino también aportará a eficiencia para gestionar la carga del puerto.

Por otro lado, Valparaíso con el tiempo ha desarrollado varias líneas de producción (de forma paralela al desarrollo portuario) y el turismo es unas de las más florecientes. Donde se observa que la ciudadanía ha comenzado a empoderarse de los lugares de uso público. Es por lo que nace la proyección de una zona de esparcimiento, compuesta por áreas verdes y una pista de ciclismo, cuya importancia radica en mantener una de las cuatro playas de la comuna de Valparaíso dentro del escenario 2 de explotación.

9.6 DISEÑO ESTRUCTURAL

La alternativa del escenario 1 está compuesta por un muro de contención costero del tipo gravitacional que incluye una escollera de protección capaz de resistir el embate de la interfaz océano-atmósfera, sus elementos individuales de manto principal fueron diseñados con roca de $2.6 \text{ [T/m}^3\text{]}$ de densidad cuyo diámetro característico es de 1.2 [m] con más de 5.4 [T] de peso.

La alternativa del escenario 2 contempla un muro de contención costero del tipo cantiléver, cuya función sea sostener una calzada y zona de esparcimiento cubierta de áreas verdes y una pista de ciclismo, resistiendo las sollicitaciones de uso. El material usado será hormigón armado con una armadura de $16@15$ equivalentes a $18.64 \text{ [cm}^2\text{]}$ de acero cuyas dimensiones son: son altura útil de 4 [m] , total de 5 [m] con espesor de 0.4 [m] .

9.7 ASIGNACIÓN DE VALOR

Al realizar la comparación valórica entre ambos escenarios, se puede deducir que un escenario social tiene aumento en dos componentes del valor, valor ambiental y urbano-sociocultural, manteniendo la misma magnitud actual en la componente económica. Sin embargo, el escenario industrial incrementa solo la componente económica, debido a que limita el acceso de la ciudadanía al borde costero y disminuye las áreas verdes o de recreación, por lo que la metodología de valoración costera propuesta por Viveros (2016) otorga valores mínimos de atractivo escénico a las áreas industriales. Es por lo anterior que la alternativa del escenario social aumenta en mayor medida el valor actual de 6.6 a 7.8 unidades de valor.

10 RECOMENDACIONES

Principalmente se recomienda realizar un estudio de mecánica de suelos para definir con mayor precisión qué tipo de estrato es el del sitio en cuestión.

Para la estimación de los parámetros de oleaje es recomendable realizar una propagación espectral multimodal, que incluya una descripción del perfil de velocidades en la columna de agua con modelos que resuelvan la fase en aguas someras. Para estimar el nivel del mar se recomienda considerar sobreelevaciones por tsunamis. Para estimar el comportamiento de la corriente se recomienda medir in-situ la velocidad de ésta y definir de manera precisa los patrones de circulación de la bahía cuantificando la deriva litoral.

Es aconsejable considerar alguna metodología de diseño adicional que cuantifique los efectos del calentamiento global relacionado con el aumento del nivel del mar y el incremento y frecuencia de arribo de tormentas.

Respecto a la constructibilidad, se aconseja revisar la factibilidad constructiva de cada alternativa de solución en torno a la disponibilidad de dispendio de rocas de alto tonelaje y pavimentos industriales y urbanos, además de hacer un análisis de precios unitarios con el fin de estimar un presupuesto acorde a las tablas de valores unitarios de construcciones del Ministerio de Obras Públicas.

Se recomienda realizar una evaluación de costo-beneficio siguiendo la metodología expuesta en el Servicio Nacional de Inversión del Ministerio de Desarrollo Social para cuantificar los beneficios sociales y económicos de cada una de las soluciones.

Respecto a la configuración en planta operacional de la solución del escenario industrial, se recomienda determinar la demanda de patio de contenedores estimada para el Puerto de Valparaíso en los años venideros, luego seleccionar las áreas de almacenamiento necesarias que generen una oferta acorde a las proyecciones en el mediano plazo.

11 TRABAJOS CITADOS

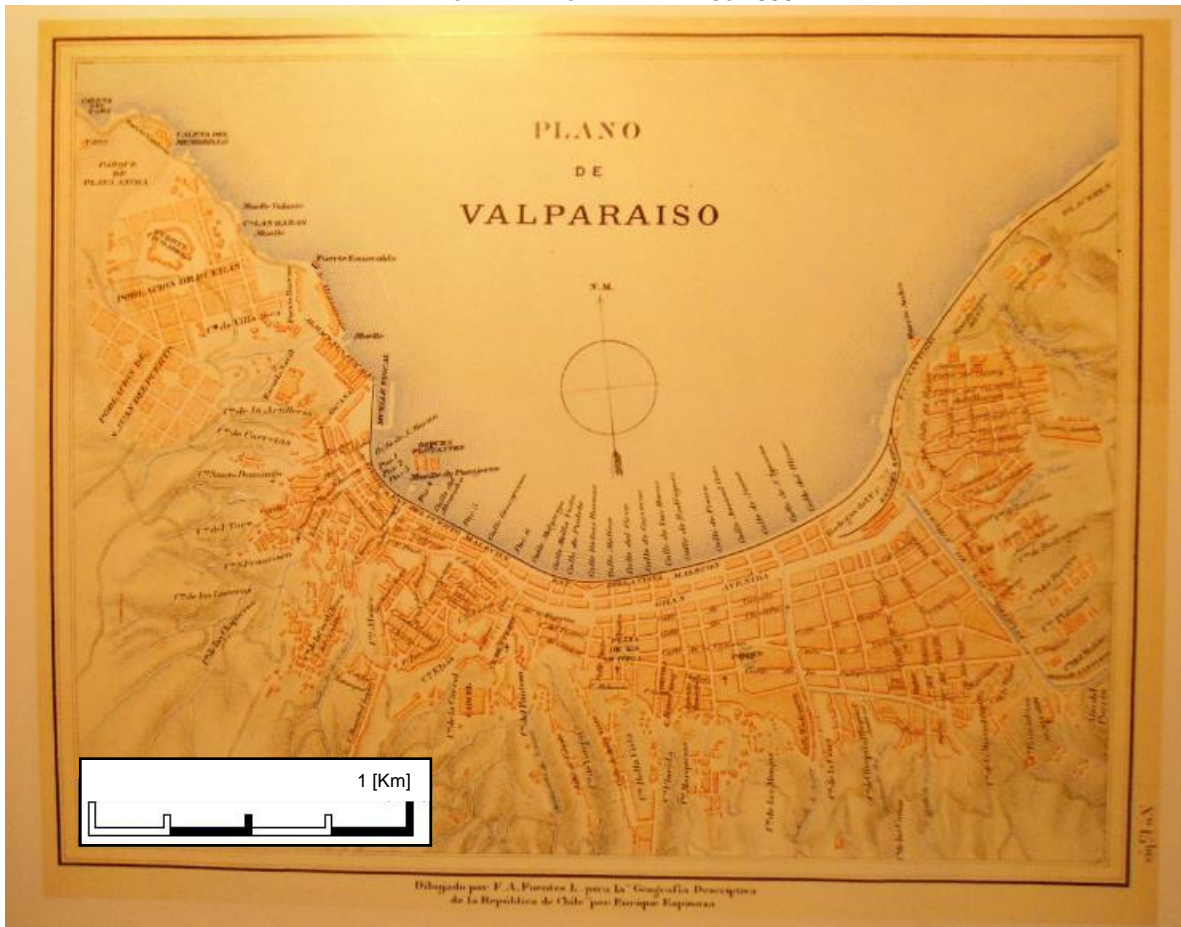
- Arriagada, P. (01 de Octubre de 2015). *Contraloría General de la República*. Obtenido de División de Coordinación e Información Jurídica: <http://www.contraloria.cl/appinf/LegisJuri/jurisprudencia.nsf/2c14219fb5bc2941042570990075ce9f/770292cb1c79d53503257ed6004ce76f?OpenDocument>
- Benguria, R. (2013). *LA LEY DE GRAVITACIÓN UNIVERSAL*. Obtenido de Instituto de Física, Pontificia Universidad Católica de Chile: [http://www.fis.puc.cl/~rbenguri/Cap6\(Dinamica\).pdf](http://www.fis.puc.cl/~rbenguri/Cap6(Dinamica).pdf)
- Benítez, p. (2014). *ANEJO 01: ESTUDIO CLIMA MARÍTIMO*. Barcelona, España: Universitat Politècnica de Catalunya.
- Beyá, J., Álvarez, A., Gellardo, A., Hidalgo, H., Aguirre, C., Valdivia, J., . . . Molina, M. (2016). *Atlas de Oleaje de Chile. Primera edición*. Valparaíso, Chile: Escuela de Ingeniería Civil Oceánica - Universidad de Valparaíso.
- Cobos, M. (1999). *CARTOGRAFÍA HISTÓRICA DE VALPARAÍSO*. Valparaíso, Chile: Universidad Católica de Valparaíso.
- CTE. (2017). *Código Técnico de la Edificación*. Obtenido de Tabla D.25 Presiones admisibles a efectos orientativos: <https://www.codigotecnico.org/>
- Dagá. (2008). *APROVECHAMIENTO HIDROELÉCTRICO DE LAS MAREAS Y SU POSIBLE DESARROLLO EN CHILE*. Santiago de Chile: Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Ingeniería Civil.
- Dean, R. G., & Dalrymple, R. A. (2004). *COASTAL PROCESSES WITH ENGINEERING APPLICATIONS*. Cambridge, Reino Unido: Cambridge University.
- DIRECTEMAR. (Abril de 2017). *C.P.(V.) ORDINARIO N° 12.250/_19_ VRS : INFORMA PLAYAS APTAS Y NO APTAS PARA EL BAÑO, JURISDICCIÓN CAPITANÍA DE PUERTO DE VALPARAÍSO, PARA EL PERÍODO ESTIVAL 2016/2017*. Obtenido de https://www.directemar.cl/directemar/site/artic/20170208/asocfile/20170208113152/12250_19_300117_valpso.pdf
- DOP. (2013). VOLUMEN 2: DISEÑO, PARTE I. En DOP, *GUÍA PARA EL DISEÑO, CONSTRUCCIÓN, OPERACIÓN Y VONSERVACIÓN DE OBRAS MARÍTIMAS Y COSTERAS* (pág. 704). Santiago, Chile: Ministerio de Obras Públicas.
- ECMWF. (2015). *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts*. Obtenido de <http://www.ecmwf.int>
- EPSA. (2013). *Plan Maestro*. San Antonio, Chile: Empresa Portuaria San Antonio.
- EPV. (2015). *PLAN MAESTRO PUERTO DE VALPARAÍSO*. Valparaíso: Empresa Portuaria de Valparaiso.
- FCFM. (2013). *Evaluación del Recurso Eólico*. Santiago de Chile: Universidad de Chile.
- Foreman. (1997). *Manual for Tidal Heights Analysis and Prediction*. Victoria, Canada: Institute of Ocean Sciences.
- GIOC. (2000). Volumen I Dinámicas. En G. d. Cantabria, *Documento de referencia* (pág. 580). Cantabria, España: Ministerio de Medio Ambiente, Dirección General de Costas.
- GIOC. (2000). VOLUMEN II PROCESOS LITORALES. En U. D. GRUPO DE INGENIERÍA OCEANOGRÁFICA Y DE COSTAS, *DOCUMENTO DE REFERENCIA* (pág. 411). Cantabria, España: Ministerio de Medio Ambiente.
- Goda, Y. (2000). Statistical Analysis of Extreme Waves. En y. Goda, *Random Seas and Design of Maritime Structures*. Singapur: world Scientific.

- Google. (2017). *imagen satelital*. Chile: cnes / airbus.
- Hernández, S. E. (2012). *VARIABILIDAD DEL ANTICICLÓN DEL PACÍFICO SUR Y SU RELACIÓN CON LA OSCILACIÓN DECADAL DEL PACÍFICO*. Valdivia: Universidad Austral de Chile, Facultad de ciencias, Escuela de Biología Marina.
- Holthuijsen, L. H. (2007). *WAVES IN OCEANIC AND COASTAL WATERS*. Cambridge, Inglaterra: Cambridge University Press.
- INCHALAM. (Febrero de 2018). *Gaviones*. Obtenido de Gaviones galvanizados: <https://www.inchalam.cl/soluciones/gaviones/gaviones-galvanizados>
- INN. (2010). *NCH 3171 of 2010*. Santiago, Chile: Instituto nacional de normalización.
- IOC. (2017). *SEA LEVEL STATION MONITORING FACILITY*. Obtenido de <http://www.ioc-sealevelmonitoring.org>
- Kamphuis, W. J. (2000). *INTRODUCTION TO COASTAL ENGINEERING AND MANAGEMENT*. Kingston: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.
- Liu, Z., & Frigaard, P. B. (1999). *Generation and Analysis of Random Waves*. Aalborg Universitet.
- Molina, M. A. (2011). *ESTUDIO NO ESTACIONARIO DE CLIMA MEDIO DE*. Valparaíso: Universidad de Valparaíso, Facultad de Ingeniería.
- Molteni, F. A. (2014). *MEJORAMIENTO DEL BORDE COSTERO APLICACIÓN A PLAYA SAN MATEO*. Valparaíso, Chile: Universidad de Valparaíso, Escuela de Ingeniería Civil Oceánica.
- NCh3171. (2010). *Disposiciones de Diseño y Combinaciones de carga*. Santiago, Chile: Instituto Nacional de Normalización.
- Neshyba, S., & Fonseca, T. (1981). *CORRIENTES COSTERAS, MANUAL DE MEDICIONES Y ANÁLISIS*. *INV MAR*, 7, 132.
- Nilson, A. H. (2001). *DIÑO DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO*. Colombia: Emma Ariza H.
- Ortega, M. M. (2015). *Oscilaciones de largo periodo: Marea Meteorológica*. Granada: Universidad de Granada.
- ROM. (2005). *RECOMENDACIONES PARA OBRAS MARÍTIMAS*. Madrid, España: Ministerio de Fomento.
- Sáez, L. (1999). *DICCIONARIO HISTÓRICO-CULTURAL DE VALPARAÍSO*. Alparaíso, Chile: Editorial Bach.
- SHOA. (1992). *GLOSARIO DE MAREAS Y CORRIENTES*. Valparaíso: Servicio Hidrográfico de la Armada de Chile.
- SHOA. (1999). *Método oficial para el cálculo de los valores no armónicos de la marea*. Valparaíso, Valparaíso: Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile.
- SHOA. (2005). *Instrucciones Oceanográficas N° 1*. Errázuriz 254, Playa Ancha, Valparaíso: Servicio Hidrografico de la Armada de Chile.
- SHOA. (2017). *Fases Lunares 2017*. Obtenido de <http://www.shoa.cl/nuestros-servicios>
- Sierra, J., & Lo Presti, A. (1998). *ESTUDIO COMPARATIVO DE CRITERIOS DE ROTURA DEL OLEAJE REGULAR*. Cataluña, España: Ingeniería del Agua Vol 5.
- Silva, R. (2005). *ANÁLISIS Y DESCRIPCIÓN ESTADÍSTICA DEL OLEAJE*. Mexico DF, Mexico: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Steward, R. H. (2008). *Introduction To Physical Oceanography*. Texas: A&M University.
- Stockton, N. (08 de OCTUBRE de 2014). *WIRED*. Obtenido de HOW MICROSCOPIC OCEAN LIFE MAY HELP MAKE IT RAIN: <https://www.wired.com/2014/08/ocean-dust-seed-clouds-rain/>

- SWAN. (2017). *SWAN USER MANUAL*. Delf, Países Bajos: Faculty of Civil Engineering and Geosciences, Delft University of Technology.
- UNAM. (2000). *Centro de geociencia*. Obtenido de Universidad Nacional autónoma de México: WWW.GEOCIENCIAS.UNAM.MX
- USACE. (2002). FUNDAMENTALS OF DESIGN. En USACE, *COASTAL ENGINEERING MANUAL*.
- USACE. (2003). COASTAL HYDRODYNAMICS. En USACE, *COASTAL ENGINEERING MANUAL*.
- USACE. (2006). WATER LEVELS AND LONG WAVES. En USACE, *Coastal Engineering Manual*.
- USACE. (2012). *Water Wave Mechanics*.
- Van der Meer, J. W., Allsop, N., Bruce, T., De Rouck, J., Kortenhaus, A., Pullen, T., . . . Zanuttigh, B. (2016). *EUROTOP MANUAL*.
- Viveros, Á. (2016). *DESARROLLO DE UNA METODOLOGÍA PARA LA VALORIZACIÓN MULTIDIMENSIONAL DE LA ZONA COSTERA: EL CASO VALPARAÍSO-VIÑA DEL MAR*. Valparaíso, Chile: Universidad de Valparaíso, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Oceánica.
- Winckler, P. (2016). *MODELOS HIDRODINAMICOS*. Valparaíso: Universidad de Valparaíso.
- Yañez, S., Hidalgo, P., & Escribano, R. (2012). *Mortalidad natural de Paracalanus indicus (Copepoda: Calanoida) en áreas de surgencia asociada a la zona de mínimo de oxígeno en el Sistema de Corrientes Humboldt: implicancias en el transporte pasivo del flujo de carbono*. Valparaíso, Chile: oceanogr vol. 47 n° 2.

ANEXO A: ZONA DE ESTUDIO

ANEXO A 1 PLANO DE VALPARAÍSO 1855



Fuente: (Sáez, 1999)

ANEXO A 2 PLANO DE VALPARAÍSO 1928



Fuente: (Sáez, 1999)

ANEXO A 3 PLANO DE VALPARAÍSO 1988



Fuente: (Sáez, 1999)

ANEXO B: VALORIZACIÓN COSTERA

ANEXO B 1 CRITERIOS DE JERARQUIZACIÓN DEL VALOR AMBIENTAL

Valor	Hábitats costeros		Atractivo escénico		Áreas verdes	
1	A	Inexistente	A	Sin vista al mar	A	Sin acceso público
	B	Daño irreversible	B	Sin libre acceso	B	Terrenos sin especies endémicas
	C	Contaminación irreparable.	C	Propiedad industrial	C	Cobertura vegetal sin conservación
			D	Acopio de material portuario	D	Solo riego natural, sin mantención
2	A	Frágiles: sustitución avanzada	A	Viste deficiente la mar	A	Con acceso público
	B	Daño parcialmente irreversible	B	Acceso limitado	B	Terrenos con especies endémicas
	C	Contaminación reparable	C	Desarrollo inmobiliario en altura	C	Cobertura vegetal mal conservada
			D	Infraestructura vial que dificulta acceso	D	Esporádica mantención de terceros
3	A	Intervenido: sustitución paisaje	A	Con vista al mar	A	Acceso público y mobiliario básico
	B	Daños reparables (planes de mitigación)	B	Infraestructura hotelera	B	Terreno con trazado de jardines
	C	Contaminación reparable	C	Desarrollo inmobiliario en altura	C	Cobertura vegetal con regular conservación
			D	Infraestructura vial que facilita acceso	D	Con mantención de terceros y riego natral
4	A	Intervención humana menor	A	Vista completa al mar	A	Acceso público, mobiliario básico y juegos infantiles
	B	Daño aislado y localizado	B	Infraestructura de uso público	B	Terreno con diseño de jardines
	C	Contaminación localizada	C	Desarrollo inmobiliario y hotelero no invasivo	C	Cobertura vegetal en buen estado de conservación
	D	Reserva ecológica en tramitación	D	Con flora y fauna silvestre	D	Con mantención municipal y riego natural
5	A	Sin intervención humana	A	Acceso y vista completa la mar	A	Acceso público, mobiliarios básicos, juegos infantiles y máquinas de ejercicios
	B	Sin daño al ecosistema	B	Infraestructura y balneario de uso público	B	Jardines con especies silvestres o introducidas
	C	Mínima contaminación	C	Sn desarrollo inmobiliario u hotelero	C	Cobertura vegetal: excelente estado de conservación
	D	Reserva ecológica declarada	D	Con ecosistemas litorales protegidos	D	Mantención municipal, ciudadana y riego natural

Fuente: (Viveros, 2016)

ANEXO B 2 CRITERIOS DE JERARQUIZACIÓN DEL VALOR ECONÓMICO

Valor	Uso de suelo		Oferta inmobiliaria		vecindario		Densidad construcción		Tipología constructiva	
1	A	Potencial agrícola o forestal	A	Sin interés comercial	A	Estrato social bajo	A	Alta	A	Material ligero, piso de tierra
	B	Fauna y flora endémica	B	Industrias indeseadas aledañas	B	Inseguridad ciudadana profunda	B	sin recolección de basura	B	Sin acceso a red sanitaria
	C	acceso vial inexistente	C	Unidades productivas deterioradas	C	Sin intervención policial			C	Sin electricidad ni agua potable
			D	Solo tasación fiscal referencial	D	Ausencia de espacios de participación			D	Sin jardín
2	A	Suelo apto para actividad agrícola forestal	A	Bajo interés comercial	A	Estrato social bajo y medio bajo	A	Medianamente alta	A	Material ligero, piso de madera
	B	Praderas y bosques	B	Industrias indeseadas a distancia	B	Inseguridad ciudadana parcial	B	vertederos ilegales	B	Sin acceso a red sanitaria
	C	Acceso vial deficiente	C	Unidades productivas en desuso	C	Intervención policial esporádica			C	Agua potable sin electricidad
			D	Oferta inmobiliaria incipiente	D	Espacios de participación No regulado			D	Jardín básico
3	A	Suelo rural apto para actividad inmobiliaria	A	Regular interés comercial	A	Estrato medio bajo y medio	A	Densidad media	A	Material ligero, radiar de hormigón
	B	Inmerso es centros urbanos	B	Industria no invasiva a distancia	B	Inseguridad ciudadana controlada	B	recolección esporádica de basura	B	Acceso a red sanitaria, fosa séptica
	C	acceso vial regular	C	Unidades productivas en uso	C	Intervención policial intermitente			C	Con agua potable, electricidad privada
			D	Oferta inmobiliaria moderada	D	Espacios de participación establecidos			D	Jardín mantenido
4	A	Suelo apto para actividad industrial	A	Interés comercial importante	A	Estrato medio y medio alto	A	Medianamente baja	A	Material sólido, fundaciones de hormigón
	B	Suelo apto para actividad residencial	B	Industria no invasiva aledaña	B	Sin inseguridad ciudadana	B	Recolección intermitente de basura	B	Acceso a red sanitaria de alcantarillas
	C	Aledaño a centros urbanos	C	Unidad productiva desarrollada	C	Intervención policial frecuente			C	Con red de agua potable y electricidad
	D	Red vial aledaña	D	Oferta inmobiliaria importante	D	Espacio de participación desarrollados			D	Jardín bien conservado

5	A	Suelo apto para actividad inmobiliaria	A	Alto interés comercial	A	Estrato alto	A	Baja densidad	A	Hormigón armado predominante
	B	Suelo apto para actividad industrial	B	Industria no invasiva aledaña	B	Seguridad urbana	B	Recolección permanente de basura	B	Acceso a red sanitaria alcantarillado y piscina
	C	Presencia de actividad comercial	C	Unidad productiva en reconversión	C	Intervención policial permanente			C	Jardín con diseños de conservación
	D	Inmerso en red vial	D	Oferta inmobiliaria alta	D	Espacios de participación en reconversión			D	

Fuente: (Viveros, 2016)

ANEXO B 3 CRITERIOS DE JERARQUIZACIÓN DEL VALOR URBANO-SOCIOCULTURAL

Valor	Red vial		Transporte público		Equipo urbano		Infraestructura de uso público	
1	A	acceso peatonal con dificultad	A	Inexistentes o distan. más de 5 km	A	inexistente	A	Inexistente
	B	Sin acceso marítimo	B	Muy mala calidad	B	uso de norias o pozos inseguros	B	Grandes extensiones deshabitadas
	C	Sin acceso aéreo			C	sin acceso: agua potable, electricidad	C	Casas aisladas entre sí
2	A	Acceso peatonal sin dificultad	A	Distan. más de 1 km	A	Insipiente urbanización	A	Precaria
	B	Acceso marítimo sin estructura de atraque	B	Mala calidad, frecuencia esporádica	B	Uso de norias y pozos seguros	B	Sitio eriazó habilitado como espacio público
	C	Acceso aéreo, solo helicópteros			C	Sin acceso: agua potable, electricidad	C	Lugares de cultos religiosos distantes
							D	Escuela pública distante
3	A	Acceso para vehículos todo terreno (4x4)	A	Infraestructura básica	A	Básico, existe urbanización	A	Básico, estructuras públicas funcionando
	B	Acceso marítimo equipo básica de desembarco	B	Rutas permanentes frecuencia normalizada	B	Acceso a cambiones aljibe municipales	B	Consultorio, bomberos y FFAA distantes
	C	Aeródromo a distancia moderada	C	Servicio con recorrido único	C	Sin acceso a electricidad	C	Lugares de culto religioso y club deportivo cercanos
							D	Instituciones de educación superior lejanas
4	A	Acceso vial regular	A	Terminales permanentes	A	Estándar, urbanización típica	A	Estándar
	B	Acceso marítimo	B	Cobertura con	B	servicios básicos	B	Consultorios,

		con estructura de atraque		diferentes rutas		garantizados		bomberos y FFAA aledaños
	C	Aeródromo aledaño	C		C	Ciclovías y parques	C	Lugares variados deportivos y de culto
							D	Institución de educación cercana
5	A	Vías peatonales seguras	A	De muy buena calidad y seguridad	A	Completo, urbanización de metrópolis	A	Completo, infraestructura de uso público
	B	Red vial completa	B	Cobertura total	B	Acceso a servicios complementarios (wifi, gas, etc.)	B	Acceso a servicios públicos
	C	Acceso marítimo completo	C		C	Acceso a zonas de recreación	C	Acceso a servicios municipales
	D	Acceso aéreo completo	D		D	Ciclovías y parques de buena calidad	d	

Fuente: (Viveros, 2016)

ANEXO C: CARACTERIZACIÓN DEL MEDIO

ANEXO C 1 TABLA DE INCIDENCIA DE OLEAJE EN AGUAS PROFUNDAS ALTURA VS. DIRECCIÓN

	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	N	Frec
[0 - 1]			0.45%	0.30%	0.04%	0.00%				0.79%
[1 - 2]		2.14%	23.44%	6.79%	1.22%	0.15%	0.03%	0.00%		33.77%
[2 - 3]	0.01%	7.78%	33.90%	4.96%	1.20%	0.43%	0.15%	0.03%	0.00%	48.45%
[3 - 4]	0.00%	4.35%	9.07%	1.51%	0.38%	0.21%	0.16%	0.06%		15.74%
[4 - 5]		0.29%	0.52%	0.23%	0.06%	0.04%	0.02%	0.02%		1.18%
[5 - 6]		0.01%	0.01%	0.04%	0.01%		0.00%	0.00%		0.07%
[6 - 7]				0.00%				0.00%		0.01%
Frec	0.01%	14.56%	67.38%	13.82%	2.91%	0.84%	0.37%	0.12%	0.00%	100.00%

Fuente: elaboración propia con datos de (Beyá, et al., 2016)

ANEXO C 2 TABLA DE INCIDENCIA DE OLEAJE EN AGUAS PROFUNDAS PERIODO Vs. DIRECCIÓN

	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	N	Frec.
[5 - 7]	0.01%	1.07%	0.24%	0.01%		0.03%	0.04%	0.02%	0.00%	1.41%
[7 - 9]	0.00%	1.96%	0.82%	0.02%	0.04%	0.07%	0.10%	0.05%		3.06%
[9-11]		1.41%	3.32%	0.73%	0.46%	0.21%	0.12%	0.04%		6.29%
[11 - 13]		4.11%	19.97%	4.81%	1.19%	0.37%	0.08%	0.00%		30.54%
[13 - 15]		5.35%	34.81%	6.14%	0.78%	0.12%	0.02%	0.01%		47.22%
[15 - 17]		0.53%	6.10%	1.40%	0.23%	0.03%	0.00%	0.00%		8.30%
[17 - 19]		0.10%	1.70%	0.50%	0.15%	0.00%				2.45%
[19 - 21]		0.02%	0.37%	0.16%	0.05%					0.60%
[21 - 23]			0.04%	0.04%	0.01%					0.09%
[23 - 25]			0.01%	0.01%						0.02%
Frec. Direccional	0.01%	14.56%	67.38%	13.82%	2.91%	0.84%	0.37%	0.12%	0.00%	100.00%

Fuente: elaboración propia con datos de (Beyá, et al., 2016)

ANEXO C 3 VALORES EXTREMOS DE OLEAJE EN AGUAS PROFUNDAS, SELECCIONADOS CON EL MÉTODO DE MÁXIMOS ANUALES

N	Año	mes	día	hora	Hm0	Dir
1	2015	8	8	18	6.13	NNW
2	2013	7	3	12	6.12	WSW
3	1997	6	21	18	5.90	WSW
4	2005	8	16	12	5.69	W
5	2003	10	31	6	5.69	SSW
6	2010	8	18	9	5.69	WSW
7	2014	7	2	12	5.29	SW
8	2011	6	18	15	5.23	W
9	2006	6	8	0	5.11	W
10	1999	8	13	0	5.11	SSW
11	2012	5	27	3	4.98	NW
12	2007	9	5	9	4.78	SW
13	1998	6	5	9	4.66	NW
14	2002	1	14	3	4.63	SSW
15	2009	7	6	3	4.62	WSW
16	2004	3	18	0	4.49	SW
17	2000	7	28	0	4.45	SW
18	2001	2	12	0	4.38	SSW
19	1996	8	13	12	4.35	WSW
20	2008	8	6	18	4.15	SW

Fuente: elaboración propia con datos de (Beyá, et al., 2016)

ANEXO C 4 RESULTADO DE PROPAGACIÓN CON SWAN: COEFICIENTE DE AGITACIÓN TOTAL (KT)

	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	N
[5 - 7]	0.062	0.168	0.329	0.45	0.697	0.781	0.776	0.6
[7 - 9]	0.069	0.16	0.298	0.404	0.657	0.745	0.748	0.58
[9-11]	0.075	0.156	0.272	0.362	0.614	0.703	0.712	0.58
[11 - 13]	0.096	0.158	0.251	0.323	0.563	0.65	0.664	0.55
[13 - 15]	0.092	0.147	0.221	0.286	0.516	0.601	0.619	0.53
[15 - 17]	0.077	0.127	0.201	0.261	0.478	0.563	0.583	0.5
[17 - 19]	0.068	0.115	0.184	0.24	0.439	0.52	0.541	0.47
[19 - 21]	0.06	0.1	0.158	0.206	0.319	0.444	0.463	0.37
[21 - 23]	0.041	0.07	0.151	0.174	0.289	0.4	0.35	0.31
[23 - 25]	0.041	0.069	0.108	0.141	0.257	0.304	0.317	0.27

Fuente: elaboración propia con datos de (Beyá, et al., 2016)

ANEXO C 5 RESULTADOS DE PROPAGACIÓN CON SWAN: COEFICIENTE DIRECCIONAL (KD)

	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	N
[5 - 7]	338.7	333.7	328.5	326.5	311.5	306.4	301.8	282.1
[7 - 9]	332.2	330.4	326.0	324.2	308.8	303.9	299.8	279.5
[9-11]	326.3	325.8	323.0	321.5	306.1	301.4	297.6	279.5
[11 - 13]	321.2	321.6	320.0	318.8	303.9	299.6	296.0	279.3
[13 - 15]	318.0	318.8	317.5	316.3	302.2	298.2	295.2	279.1
[15 - 17]	317.1	317.2	315.6	314.4	301.2	297.6	294.9	278.9
[17 - 19]	316.2	315.9	314.1	312.9	300.8	297.3	294.8	278.6
[19 - 21]	315.6	315.3	313.8	312.5	301.2	296.0	294.8	278.6
[21 - 23]	316.0	315.5	313.0	315.5	300.0	296.0	294.8	278.6
[23 - 25]	316.0	315.8	314.2	312.9	300.8	297.0	294.8	278.6

Fuente: elaboración propia con datos de (Beyá, et al., 2016)

ANEXO C 6 VALORES EXTREMOS DE OLEAJE EN N1

Año	H _{m0} AP	Dir Ap	HmoN1	Dir N1	Año	H _{m0} AP	Dir Ap	HmoN1	Dir N1
2015	6.13	NNO	4.07	WNW	2001	3.66	NO	2.73	NW
2005	4.84	NO	3.40	WNW	2002	3.75	NNO	2.67	WNW
1998	4.66	NO	3.28	WNW	2011	4.03	ONO	2.65	NW
2012	4.98	NO	3.24	WNW	2003	3.66	NO	2.57	WNW
1997	4.54	NNO	3.23	WNW	2009	4.10	ONO	2.31	NW
1996	4.08	NNO	3.05	WNW	2004	2.90	NO	2.16	NW
2010	4.27	NO	3.00	WNW	2014	3.03	NO	1.97	WNW
2000	3.97	NNO	2.97	WNW	1999	3.81	ONO	1.97	WNW
2006	3.94	NO	2.77	WNW	2013	3.06	ONO	1.88	NW
2008	3.90	NO	2.74	WNW	2007	2.45	ONO	1.51	NW

Fuente: elaboración propia

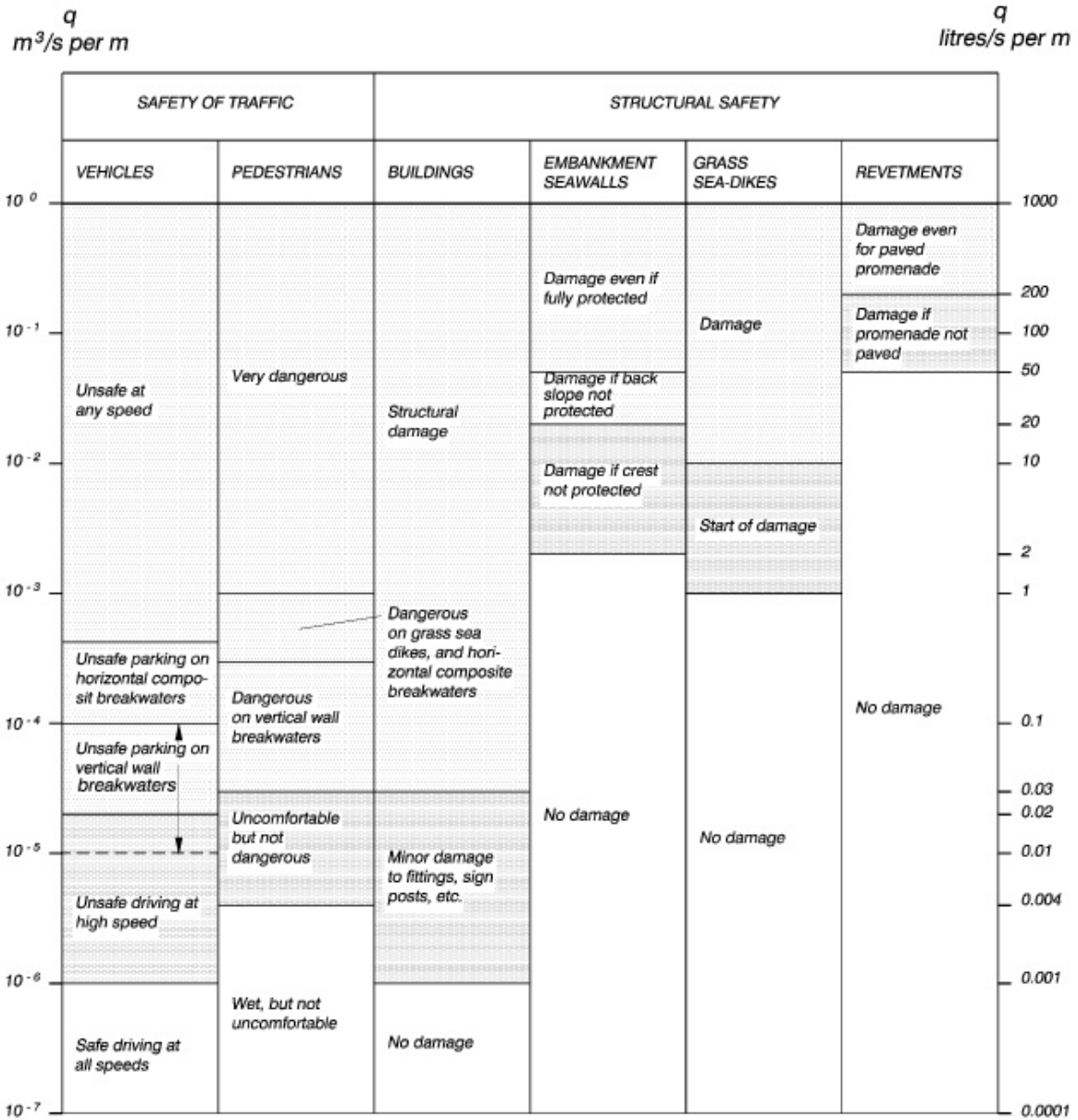
ANEXO C 7 VALORES EXTREMOS DE MAREA METEOROLÓGICA

Fecha	Registro	Armónico	Residuo
14-07-2016 19:00	0.565	0.007	0.740
13-07-2016 18:00	0.651	-0.089	0.714
13-07-2016 17:00	0.329	-0.169	0.678
17-09-2015 3:00	1.055	0.414	0.641
08-08-2015 7:00	0.784	0.311	0.617
12-03-2011 14:00	0.368	-0.162	0.565
09-08-2010 11:00	0.842	0.334	0.558
27-02-2010 12:00	0.926	0.309	0.530
15-06-2009 14:00	0.380	-0.185	0.508
15-06-2009 12:00	0.380	-0.118	0.498
15-06-2009 2:00	0.380	-0.298	0.498
15-06-2009 0:00	0.380	-0.089	0.473
11-02-2009 7:00	0.986	0.272	0.469
13-12-2008 4:00	0.76	0.303	0.457
16-06-2008 15:00	0.57	0.116	0.454

Fuente: Elaboración propia

ANEXO D: MEMORIAS DE CÁLCULO

ANEXO D 1 CAUDAL ADMISIBLE DE SOBREPASO POR METRO LINEAL DE MURO



Fuente: (USACE, 2002)

ANEXO D 2 PRESIONES ADMISIBLES DISTINTOS TIPO DE SUELOS

Tabla D.25. Presiones admisibles a efectos orientativos			
Terreno	Tipos y condiciones	Presión admisible [Mpa]	Observaciones
Rocas	Rocas ígneas y metamórficas sanas ⁽¹⁾ (Granito, diorita, basalto, gneis)	10	Para los valores apuntados se supone que la cimentación se sitúa sobre roca no meteorizada
	Rocas metamórficas foliadas sanas ^{(1), (2)} (Esquistos, pizarras)	3	
	Rocas sedimentarias sanas ^{(1), (2)} : Pizarras cementadas, limolitas, areniscas, calizas sin karsificar, conglomerados cementados	1 a 4	
	Rocas arcillosas sanas ^{(2), (4)}	0,5 a 1	
	Rocas diaclasadas de cualquier tipo con espaciamiento de discontinuidades superior a 0,30m, excepto rocas arcillosas	1	
	Calizas, areniscas y rocas pizarrosas con pequeño espaciamiento de los planos de estratificación ⁽³⁾	-	
	Rocas muy diaclasadas o meteorizadas ⁽³⁾	-	
Suelos granulares (% finos inferior al 35% en peso)	Gravas y mezclas de arena y grava, muy densas	>0,6	Para anchos de cimentación (B) mayor o igual a 1 m y nivel freático situado a una profundidad mayor al ancho de la cimentación (B) por debajo de ésta
	Gravas y mezclas de grava y arena, medianamente densas a densas	0,2 a 0,6	
	Gravas y mezclas de arena y grava, sueltas	<0,2	
	Arena muy densa	>0,3	
	Arena medianamente densa	0,1 a 0,3	
	Arena suelta	<0,1	
Suelos finos (% de finos superior al 35% en peso)	Arcillas duras	0,3 a 0,6	Los suelos finos normalmente consolidados y ligeramente sobreconsolidados en los que sean de esperar asientos de consolidación serán objeto de un estudio especial. Los suelos arcillosos potencialmente expansivos serán objeto de un estudio especial
	Arcillas muy firmes	0,15 a 0,3	
	Arcillas firmes	0,075 a 0,15	
	Arcillas y limos blandos	<0,075	
Suelos orgánicos		Estudio especial	
Rellenos		Estudio especial	

¹⁾ Los valores indicados serán aplicables para estratificación o foliación subhorizontal. Los macizos rocosos con discontinuidades inclinadas, especialmente en las cercanías de taludes, deben ser objeto de análisis especial.

²⁾ Se admiten pequeñas discontinuidades con espaciamiento superior a 1 m.

Fuente: (CTE, 2017)

ANEXO D 3 FRANCOBORDO, MURO DE ESCOLLERA

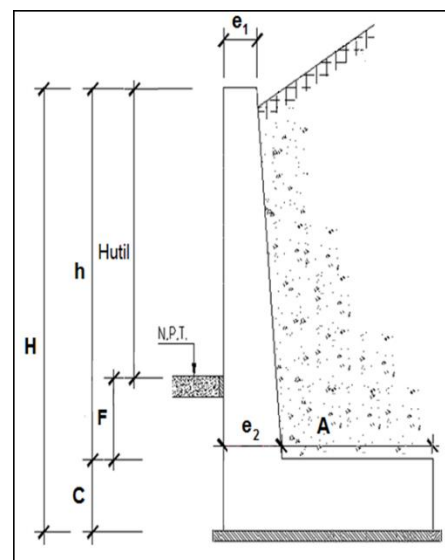
Table VI-5-8/Equation VI-5-22 CEM			
Overtopping formula by Owen		$\frac{Q_{adm}}{g H_s T_{om}} = a \exp \left[-b \frac{R_c}{H_s} \sqrt{\frac{S_{om}}{2 \pi}} \frac{1}{\gamma_r} \right]$	
Item	Value	Units	
Gravity	9.806	m/sec ²	
H _s	4.31	M	
Gamma _r	0.5		
T _{OM}	10	Sec	
Slope	1 :3		
a	0.016		
b	32		
Surf Similarity Parameter	2.00584		
Deepwater Wavelength (L _L)	156.067	M	
Wave Steepness (S _w)	0.0276163		
		Smooth	Rough
		q(gamma r =1)	q(gamma r)
R _C (m)	R _C /H _s	m ³ /sec/m	m ³ /sec/m
4.7	1.1	0.6689	0.0662
4.8	1.1	0.6368	0.0600
4.9	1.1	0.6062	0.0543
5.0	1.2	0.5771	0.0492

ANEXO D 4 PESO DE ELEMENTOS, MURO DE ESCOLLERA

Table VI-5-22/Equation VI-5-67 CEM				
Hudson stability formula		$\frac{H_D}{\Delta D_{n50}} = (K_D \cot \alpha)^{1/3}$		
Para 2 capas de roca	Valor	Unidad		
Gravedad	9.8	m/sec ²		
Densidad de la roca	2600	kg/m ³		
Densidad del agua	1025	kg/m ³		
K _D	3.5			
Δ	1.53659	m		
Pendiente (cot [α])	3			
H TM [m]	D ₅₀ [m]	M ₅₀ [kg]	W ₅₀ [N]	Numero de Estabilidad [N TM]
4.1	1.21852	4703.98	46099	2.18976
4.2	1.24824	5056.64	49555	2.18976
4.3	1.27796	5426.49	53179.6	2.18976
4.4	1.30768	5813.96	56976.8	2.18976

ANEXO D 5 GEOMETRÍA DE MURO CANTILÉVER

γ_h [T/m ³]	2.50	Peso específico hormigón armado
H Útil [cm]	400.00	Altura útil de muro
C [cm]	100.00	Alto de muela
C+F [cm]	210.00	Socavación
A ([cm]	450.00	Ancho de muela
e1 [cm]	50.00	Espesor de muro
e2 [cm]	50.00	Espesor de muro
H total [m]	6.10	Altura total de muro
h [m]	5.10	Altura de terreno a contener
h _v [m]	6.10	Altura volcante
B [m]	5.00	Ancho total
Inclinación vertical [°]	0.00	
Área [m ²]	4.56	Área total sección muro



ANEXO D 6 PARÁMETROS DE SUELO

γ_s [T/m ³]	2.00	Peso unitario del suelo de relleno
γ_{ss} [T/m ³]	2.50	Peso unitario del suelo de relleno saturado
φ_s [°]	40.00	Ángulo de fricción interna del suelo de relleno
φ_f [°]	30.00	Ángulo de fricción interna del suelo de fundación
σ_{est} [kgf/cm ²]	2.1	Presión admisible del suelo, caso estático
σ_{sis} [kgf/cm ²]	3.2	Presión admisible del suelo, caso dinámico (1.5 σ_{est})
Tipo Suelo	III	NCh 433 Of.96 Mod 2009
Zona Sísmica	3.00	NCh 433 Of.96 Mod 2009
Ao/g	0.40	NCh 433 Of.96 Mod 2009
Profundidad de napa	5.10	
$\text{tg } \mu$ ($\approx 2/3\varphi$)	0.36	Coefficiente de roce
i [rad]	0.00	Pendiente de la superficie del suelo contenido
δ_A [rad]	0.23	Ángulo de fricción suelo-muro para empuje activo
δ_P [rad]	0.23	Ángulo de fricción suelo-muro para empuje pasivo
β [rad]	0.00	Inclinación del trasdós del muro con respecto a la vertical
α [rad]	1.57	Inclinación del trasdós del muro con respecto a la horizontal

ANEXO D 7 DISEÑO A FLEXIÓN, MURO CANTILÉVER

Verificación de estabilidad		
F.S.VOLC est.	2.00	Factor de Seguridad al Volcamiento caso Estático
F.S.DESL est.	2.00	Factor de Seguridad al Deslizamiento caso Estático
F.S.VOLC sis.	1.20	Factor de Seguridad al Volcamiento caso Sísmico
F.S.DESL sis.	1.20	Factor de Seguridad al Deslizamiento caso Sísmico
Deslizamiento		
V_{ACTIVO} [T/m]	11.43	Empuje Activo
$V_{SISMICO}$ [T/m]	5.34	Empuje Sísmico
f_r [T/m]	27.18	Fuerza de roce
V_{RES} [T/m]	27.18	Empuje resistente
F.S.DES est.	5.09	Cumple
F.S.DES sis.	1.62	Cumple
Volcamiento		
M_{ACTIVO} [Tm/m]	21.48	Momento volcante activo
$M_{SISMICO}$ [Tm/m]	21.72	Momento volcante sísmico
M_{VOLC} [Tm/m]	43.20	Momento volcante total
M_{RES} [Tm/m]	67.95	Momento resistente
F.S.VOL est.	3.16	Cumple
F.S.VOL sis.	1.57	Cumple
Presión admisible de fundación		
W_{TM} [T]	74.68	Peso total del muro (incluyendo suelo a contener)
σ_{estat} [kgf/cm ²]	1.49	presión estática media
σ_{adm} [kgf/cm ²]	2.10	Presión admisible del suelo de fundación

ANEXO D 8 GAVIONES GALVANIZADOS



Descripción

Sistema de contención y revestimiento, fabricado en alambre galvanizado.



Usos y Aplicaciones

- Revestimiento de canales, semicanalizaciones, espigones.
- Construcción de cepas provisionales de puentes, vertederos.
- Protección de tuberías.
- Construcción de muros de contención de terrapaneles, protección de estribos y terraplenes de accesos a puentes.
- Construcción de marinas.



Formato de Venta

Dimensiones Nominales					
Largo	Ancho	Alto	N° Diafragma	80/100 Peso Kg(aprox)	
2	1	1	1	13,4	
3	1	1	2	19,3	
3	1	0,5	2	13,9	
3	1	0,3	2	11,2	

- Para amarrar se recomienda:
- Usar entre 7% a 10% del peso del gavión



Características

Características Técnicas Gavión 80 x 120	
Abertura de la malla nominal	80 x 120 mm
Diámetro alambre malla	2,4 mm
Diámetro alambre costuras	2,4 mm
Diámetro alambre borde	3,0 mm mm
Galvanizado mínimo	250 g/m ² de Zn

- Para amarrar utilice:
- Alambre galvanizado Tiple, blando diámetro 2,4 mm

Fuente: (INCHALAM, 2018)